



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV PROCESNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF PROCESS ENGINEERING

**EFEKTIVNÍ NÁVRH A PROVOZ TŘÍDÍCÍ LINKY JAKO PRVEK
KOMPLEXNÍHO ODPADOVÉHO ŘETĚZCE**

EFFECTIVE PROPOSAL AND OPERATION OF SORTING LINE AS AN ELEMENT IN WASTE MANAGEMENT

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Dominik Guštara

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jiří Gregor

BRNO 2017

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav procesního inženýrství
Student: **Bc. Dominik Guštara**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Procesní inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Jiří Gregor**
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Efektivní návrh a provoz třídící linky jako prvek komplexního odpadového řetězce

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Ve vyspělých zemích je separovaný sběr odpadu již standardem. Aby bylo možné dosáhnout požadované čistoty a kvality pro znovuvyužití určitého druhu odpadu, je nutné využít do-třídňovací systém např. třídící linku. Separovaná složka, určitého druhu odpadu, je svezena na třídící linku, kde je následně zpracována. Separovaná složka se dělí dle určitých kategorií a jednotlivé složky lze uplatnit na trhu ve formě druhotné suroviny a především s kladnou cenou. Diplomová práce má za úkol posoudit hlavní aspekty třídící linky z pohledu celkového odpadového řetězce ve smyslu producent – koncové zařízení.

Cíle diplomové práce:

- Popis technologie třídících a do-třídňovacích systémů.
- Vytvoření T-E modelu třídící linky (stavební, technologická a provozní část).
- Vytvoření základních ekonomických pohledů na zpracování definovaných komodit.
- Zohlednění transportního systému do systému třídící linky.
- Závěrečné vyhodnocení a dopady na odpadové hospodářství.

Seznam literatury:

Driga s.r.o [online]. [cit. 2016-10-29]. Dostupné z: <http://www.driga.cz/>

MARTINEZ-SANCHEZ, Veronica, Tore HULGAARD, Claus HINDSGAUL, Christian RIBER, Bettina KAMUK a Thomas F. ASTRUP. Estimation of marginal costs at existing waste treatment facilities. Waste Management [online]. 2016 (Volume 50), Pages 364–375 [cit. 2016-10-29]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X16300794>

KINNAMAN, Thomas, Takayoshi SHINKUMA a Masashi YAMAMOTO. The socially optimal recycling rate: Evidence from Japan. Journal of Environmental Economics and Management [online]. 2014(Volume 68), Pages 54–70 [cit. 2016-10-29]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0095069614000230>

JAMASB, Tooraj a Rabindra NEPAL. Issues and options in waste management: A social cost–benefit analysis of waste-to-energy in the UK. Resources, Conservation and Recycling [online]. 2010 (Volume 54), Pages 1341–1352 [cit. 2016-10-29]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344910001151>

KINNAMAN, Thomas. Policy Watch: Examining the Justification for Residential Recycling. The Journal of Economic Perspectives [online]. 2006 (Volume 20), Pages 219-232 [cit. 2016-10-29]. Dostupné z: <http://www.ingentaconnect.com/content/aea/jep/2006/00000020/00000004/art00012>

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Petr Stehlík, CSc., dr. h. c.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

Abstrakt

Předkládaná diplomová práce se zabývá materiálovou separací komunálních odpadů. Úvodní kapitoly popisují současný stav nakládání s vybranými materiálově využitelnými složkami a technologii jejich sběru. Následuje popis technologie třídících a dotříd'ovacích linek jakožto zařízení, která povyšují materiálově využitelné složky odpadu na druhotnou surovinu vhodnou k recyklaci. Prvním krokem praktické části této práce bylo vytvoření technicko-ekonomického modelu dotříd'ovací linky separovaně sbíraného plastového a papírového odpadu, další kapitolu práce tedy tvoří jeho popis a představení. Následně jsou zhodnoceny výstupy modelu při třech nastaveních jeho vstupních proměnných, která reprezentují tři sestavené scénáře provozu modelované linky. Provedeny byly i citlivostní analýzy zaměřené na vybrané vstupní proměnné tohoto modelu. Samostatná kapitola je věnována změnám ve výstupech modelu, pokud jsou do simulovaného scénáře provozu zahrnuty i náklady na dopravu materiálu. V závěru práce je vyhodnocen vliv zvýšené materiálové separace plastového odpadu na výhřevnost zbytkového směsného komunálního odpadu.

Klíčová slova

třídění odpadu, recyklace, odpadové hospodářství, technicko-ekonomický model, komunální odpad, citlivostní analýza, druhotná surovina

Abstract

The hereby presented master's thesis deals with municipal solid waste separation. The introductory chapters describe current state of handling of selected recyclables and the technologies of their collection. The following chapter is a description of a waste sorting line technology, since this facility's function is to upgrade the recyclables to secondary materials. The first step of practical part of this thesis was creation of a technical-economic model of the sorting line designed to process plastic and paper waste, therefore the following chapter is dedicated to its description and presentation. Subsequently, the outputs of the model are evaluated for three settings of its input variables, which represent the three imagined scenarios of the modeled sorting line's operation. Sensitivity analyses focused on selected input variables of this model were also performed. A separate chapter is dedicated to changes in the model outputs in the case of including the waste transportation prices to the selected scenario. At the end of the thesis, the influence of increased material separation of plastic waste on the lower heating value of residual mixed municipal solid waste is evaluated.

Keywords

waste separation, recycling, waste management, technical-economic model, municipal solid waste, sensitivity analysis, secondary material

Bibliografická citace

GUŠTARA, D. *Efektivní návrh a provoz třídící linky jako prvek komplexního odpadového řetězce*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 83 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jiří Gregor.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma *Efektivní návrh a provoz třídící linky jako prvek komplexního odpadového řetězce* vypracoval samostatně a s použitím materiálů uvedených v seznamu použitých zdrojů a literatury.

V Brně dne 25. 5. 2017

.....

Dominik Guštara

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval v první řadě Ing. Jiřímu Gregorovi za vedení a cenné rady při psaní této práce. Děkuji zde hlavně své rodině za podporu během celého studia, a to jak finanční, tak psychickou. Děkuji také všem svým přátelům, že respektovali moji občasnou náladovost při psaní této práce. Dále děkuji obci Dřínov, která mi darovala tištěnou verzi jednoho ze zdrojů této diplomové práce. Závěrem bych rád poděkoval Otovi Budínovi, jehož přátelská podpora sehrála důležitou roli v dokončení této práce.

Obsah

1	Úvod.....	1
1.1	Pojmy a definice.....	1
1.2	Současný stav a motivace	3
1.3	Cíle práce.....	4
2	Cílové složky, jejich produkce a sběr	5
2.1	Produkce a výskyt cílových složek.....	8
2.2	Sběr využitelných složek odpadů	10
3	Úprava odpadu na dotříd'ovacích linkách.....	15
3.1	Princip fungování linek.....	15
3.2	Technologické vybavení dotříd'ovacích a třídících linek.....	17
3.3	Dotřídění využitelných složek v ČR	29
4	Technicko-ekonomický model dotříd'ovací linky	32
4.1	Koncepce zařízení a náklady	33
4.2	Materiálová bilance.....	36
4.3	Finanční bilance.....	39
4.4	Vývoj nákladů a výnosů během životnosti.....	41
4.5	Hlavní výstupy modelu	42
5	Průzkum trhu druhotných surovin.....	43
6	Aplikace T-E modelu na scénáře provozu.....	45
6.1	Výstupy scénářů	46
6.2	Výstupy scénářů bez vlivu počáteční investice	50
7	Citlivostní analýzy vybraných proměnných T-E modelu	51
8	Zohlednění transportní úlohy do T-E modelu	55
9	Dopad zvýšené materiálové separace na výhřevnost SKO.....	59
10	Závěr.....	62
	Seznam použitých zdrojů a literatury	64
	Seznam použitých symbolů a zkratk	68
	Seznam obrázků a tabulek.....	71
	Seznam příloh.....	73
	Příloha A: Systémy sběru recyklovatelných odpadů v zahraničí.....	74
	Příloha B: Charakteristiky odděleného sběru cílových frakcí KO	76
	Příloha C: Linky pro dotřídění skla.....	79
	Příloha D: Schéma uspořádání linky – rozvinutý boční pohled	82
	Příloha E: Schéma uspořádání linky ve zpracovací hale – horní pohled	83

1 Úvod

Česká republika (dále jen „ČR“) uplatňuje v souladu s doporučeními Evropské Unie (dále jen „EU“) tzv. hierarchii nakládání s odpady, jejíž grafické vyobrazení lze vidět na Obr. 1.1. Ta určuje nejvhodnější způsoby nakládání s odpady, z nichž předcházení samotnému vzniku je možnost nejpreferovanější, zatímco množství odpadu odstraněného (hlavně skládkováním, dále spalováním bez energetického využití a jinými způsoby) by mělo být co nejnižší. Ve středu prezentované pyramidy se nachází recyklace odpadů, která bude hlavním předmětem řešené diplomové práce.



Obr. 1.1: Hierarchie nakládání s odpady [1]

Nejvýznamnějším legislativním dokumentem v oblasti nakládání s odpady vydaným na území ČR je *Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů* (dále jen „*Zákon o odpadech*“), který mimo jiné zapracovává příslušné požadavky a předpisy ze strany EU. Druhým důležitým dokumentem je *Vyhláška č. 93/2016 Sb., o Katalogu odpadů*. Přílohou k této vyhlášce je totiž tzv. „*Katalog odpadů*“, v rámci kterého je definováno 20 skupin (a řada podskupin), do kterých mají být zařazovány veškeré odpady vznikající na území ČR. Na oba zmiňované zákony se v určité fázi tato práce odkazuje.

1.1 Pojmy a definice

Pro správné porozumění řešené problematice je nutno definovat některé termíny vyskytující se v pozdějších kapitolách.

Odpad:

Dle aktuálního znění *Zákona o odpadech* je odpad každá movitá věc, které se osoba zbavuje nebo má úmysl nebo povinnost se jí zbavit.

Komunální odpad (dále jen „KO“):

Tento pojem je definován přesně v *Zákonu o odpadech* jako „veškerý odpad vznikající na území obce při činnosti fyzických osob a který je uveden jako komunální odpad v *Katalogu odpadů*, s výjimkou odpadů vznikajících u právnických osob nebo fyzických osob oprávněných k podnikání“. V rámci této práce bude tento pojem rozšířen na veškerý odpad, se kterým obec nakládá jako původce. Po tomto rozšíření spadá do kategorie KO také:

- odpad podobný komunálnímu vzniklý při činnosti právnických osob nebo fyzických osob oprávněných k podnikání, které jsou zapojeny do systému nakládání s komunálními odpady stanoveného obcí a mají s obcí uzavřenou písemnou smlouvu
- a odděleně sbíraný obalový odpad zařazený do podskupiny **15 01** podle *Katalogu odpadů*. [2]

Oddělený (též tříděný nebo separovaný) sběr odpadu:

Podle *Zákona o odpadech* je oddělený sběr odpadu takový, při kterém je tok odpadů oddělen podle druhu a povahy odpadu s cílem usnadnit další specifické zpracování.

Využitelné složky KO:

Jsou to takové složky, které byly získány odděleným sběrem KO a tím pádem je lze přímo nebo po úpravě uplatnit jako druhotnou surovinu. Spadají sem odpady zařazené v *Katalogu odpadů* do skupin **15 01** (obaly včetně odděleně sbíraného komunálního obalového odpadu) a **20 01** (složky z odděleného sběru – kromě odpadů uvedených v podskupině 15 01). [2]

Směsný komunální odpad

Směsný komunální odpad (dále jen „SKO“) je ta část KO, která zůstává po vytrídění využitelných složek, nebezpečných odpadů, objemných odpadů, odpadů ze zahrad a parků a případných dalších složek. Tvoří hlavní část KO a v ČR je většina tohoto odpadu odstraňována skládkováním, menší část je energeticky využívána. [3]

Druhotná surovina:

Přímou definici tohoto pojmu bohužel nelze v žádném legislativním dokumentu vydaném na území ČR nalézt. V *Zákonu o odpadech*, § 3, bodě 6 lze nalézt popis stavu, kdy některé druhy odpadu přestávají být odpadem. Dochází k tomu tehdy, jestliže poté, co byl odpad předmětem některého ze způsobů využití, splňuje tyto podmínky:

- a) věc se běžně využívá ke konkrétním účelům,
- b) pro věc existuje trh nebo poptávka,
- c) věc splňuje technické požadavky pro konkrétní účely stanovené zvláštními právními předpisy nebo normami použitelnými na výrobky,
- d) využití věci je v souladu se zvláštními právními předpisy a nepovede k nepříznivým dopadům na životní prostředí nebo lidské zdraví a

- e) věc splňuje další kritéria, pokud jsou pro určitý typ odpadu stanovena přímo použitelným předpisem Evropské unie.

Takovýto odpad, který přestal být odpadem, pak může být označován jako druhotná surovina.

Využití odpadů:

Zákon o odpadech: činnost, jejímž výsledkem je, že odpad slouží užitečnému účelu tím, že nahradí materiály používané ke konkrétnímu účelu, a to i v zařízení neurčeném k využití odpadů, nebo že je k tomuto konkrétnímu účelu upraven.

Materiálové využití odpadů:

Zákon o odpadech: způsob využití odpadů zahrnující recyklaci a další způsoby využití odpadů jako materiálu k původnímu nebo jiným účelům, s výjimkou bezprostředního získání energie.

Recyklace

Zákon o odpadech: jakýkoliv způsob využití odpadů, kterým je odpad znovu zpracován na výrobky, materiály nebo látky pro původní nebo jiné účely jejich použití. Za recyklaci není považováno energetické využití a zpracování na výrobky, které mají být použity jako palivo nebo zásypový materiál.

Energetické využití odpadů:

Tento pojem popisuje proces spalování většinou SKO v *Zařízení pro energetické využití odpadu* neboli zkráceně *ZEVO* (často laickým termínem označované jako „spalovna“), kdy je vzniklé teplo využito k výrobě tepelné a elektrické energie. Dané zařízení musí pro klasifikaci jako *ZEVO* dosahovat vysoké energetické účinnosti a dodržovat řadu dalších provozních podmínek v souladu s odpovídající legislativou. [2], [4]

1.2 Současný stav a motivace

*Směrnice evropského parlamentu a rady (ES) č. 98/2008 stanovuje pro ČR jako cíl „zvýšit do r. 2020 nejméně na 50 % hmotnosti celkovou úroveň přípravy k opětovnému použití a recyklace alespoň u odpadů z materiálů, jako jsou papír, kov, plast a sklo, pocházejících z domácností a případně odpady jiného původu, pokud jsou tyto toky odpadů podobné odpadům z domácností“. K dodržení tohoto cíle se ČR zavázala v rámci Plánu odpadového hospodářství (dále jen „POH“) pro období 2015–2024. V roce 2012 byl podíl materiálově využitých **KO celkově** (nikoliv jen výše zmíněných využitelných složek) 30,4 % hmotnosti. [5]*

Kromě výše uvedených cílů se ČR v rámci POH zavazuje k dalším dvěma cílům. Prvním z nich je to, že způsob, kterým má být zmíněná hierarchie nakládání s odpady uplatňována, má zohledňovat proveditelnost a udržitelnost vzhledem k místním podmínkám. Druhý z nich říká, že hierarchie má být uplatňována způsobem, který představuje nejlepší **celkový** výsledek pro životní prostředí. Recyklace, přes všechny své nesporné výhody sahající od úspory primárních surovin a energie až po zmenšení

množství odstraňovaných odpadů, má svá omezení. Je důležité si uvědomovat, že jde o proces, který na jedné straně životnímu prostředí napomáhá, na straně druhé ho ale jako každý jiný výrobní proces zatěžuje. Bylo by kontraproduktivní při honbě za maximalizací absolutních hodnot recyklovaných odpadů vytvářet neúměrně vysokou environmentální zátěž jiného druhu (znečištění ovzduší, vodstva aj.). [6]

Návrh celého recyklačního systému (od sběru odpadu až po využití získaných druhotných surovin ve výrobním procesu), který by pracoval v optimálním režimu, je příliš komplexní problém, tato práce se proto ve svém obsahu zaměří pouze na subsystém dotříd'ovací linky, a to především z ekonomického hlediska. Dotříd'ovací linky jsou zařízení, na nichž dochází k úpravě využitelných složek KO získaných separovaným sběrem, a tím k jejich povýšení na druhotné suroviny, které pak lze na materiálovém trhu uplatnit s kladnou cenou a nahradit jimi suroviny primární.

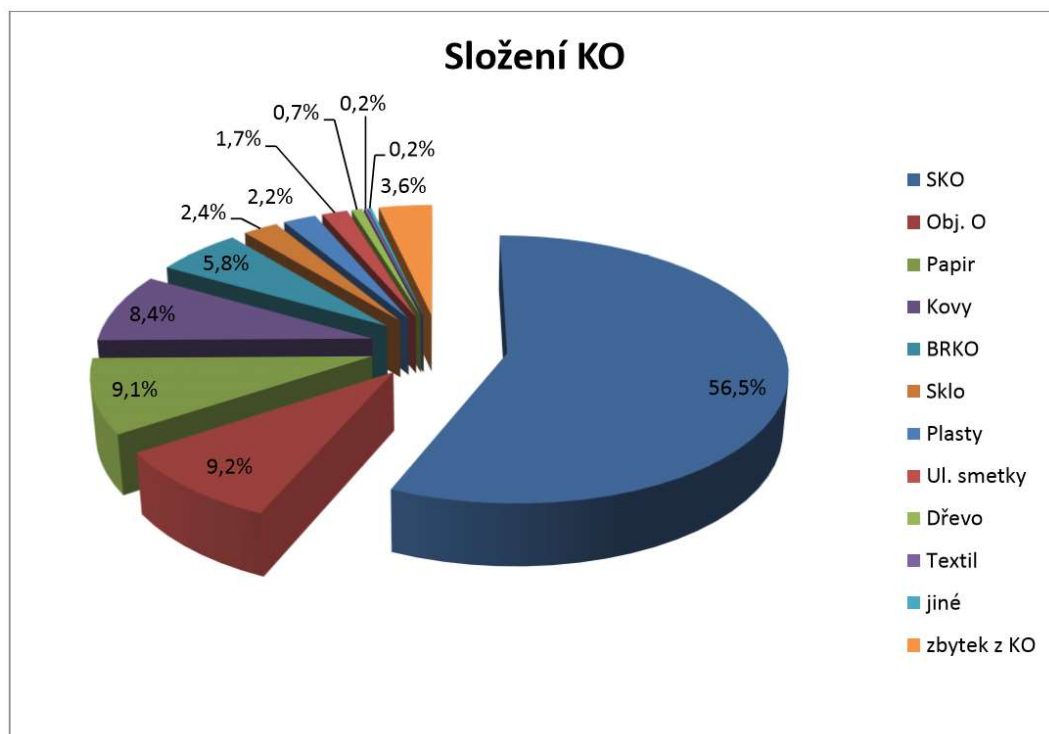
1.3 Cíle práce

Vytyčené dílčí cíle předkládané práce jsou následující:

- Popis produkce využitelných složek KO a možností jejich sběru.
- Představení technologií využívaných na dotříd'ovacích a třídících linkách.
- Vytvoření technicko-ekonomického modelu dotříd'ovací linky zahrnujícího stavební, technologickou i provozní část. Na základě nastavitelných vstupních proměnných veličin, reprezentujících provozní podmínky a případně i uspořádání linky, má být vyhodnocována ziskovost předpokládaného zařízení.
- Sestavení základních scénářů provozu uvažovaného zařízení a jejich vyhodnocení na základě výstupů technicko-ekonomického modelu.
- Provedení citlivostních analýz zaměřených na vybrané vstupní proměnné modelu.
- Zohlednění transportních systémů do modelu linky.
- Posouzení vlivu zvýšené separace odpadu na jiné aspekty odpadového hospodářství se zaměřením na dopad na výhřevnost SKO.

2 Cílové složky, jejich produkce a sběr

Výše definovaný KO sestává ze SKO, objemného odpadu, několika využitelných složek získaných odděleným sběrem a dalších frakcí (např. uliční smetky aj.). Orientační složení tohoto souboru odpadních toků ukazuje graf na Obr. 2.1, který vychází z dat agregovaných Ministerstvem životního prostředí (dále jen „MŽP“) vztahujících se k r. 2012. Skupiny na tomto grafu korespondují s jednotlivými podskupinami odpadů dle Katalogu odpadů (např. „papír“ představuje podskupinu 15 01 01 a 20 01 01 atd.)



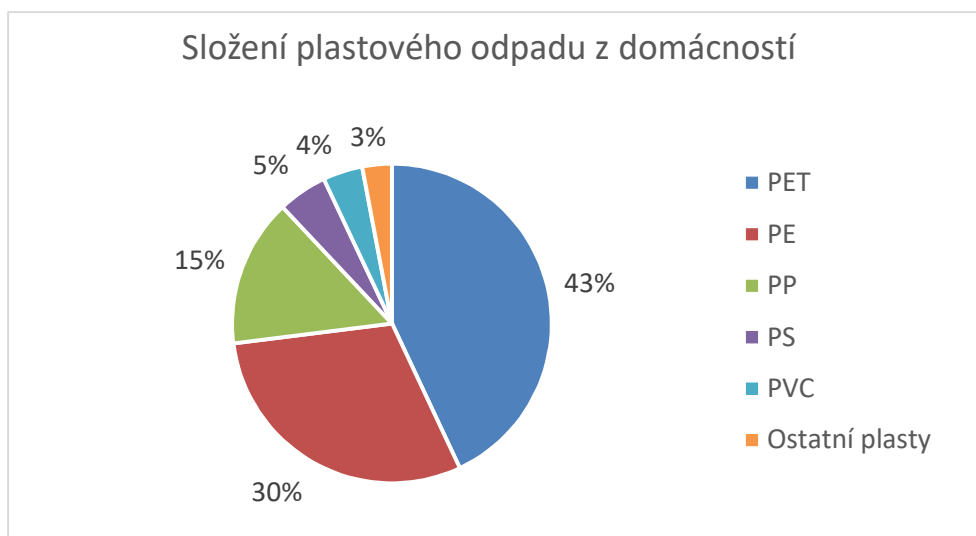
Obr. 2.1: Zastoupení jednotlivých složek KO v r. 2012 dle MŽP [5]

Potenciálně využitelných složek je v KO poměrně značné množství, tato práce se ovšem bude prioritně zabývat odpadními plasty, papírem, sklem a nápojovými kartony. Proces sběru a dotřídění těchto složek má totiž, na rozdíl od procesů předcházejících recyklaci např. odpadních kovů nebo textilu, vzájemně velmi podobný průběh a dotřídovací linky v něm hrají zásadní roli.

Plast

Primárním zdrojem pro výrobu plastů jsou fosilní suroviny (hlavně ropa), ze kterých je tento materiál vyráběn synteticky. Odhaduje se, že na výrobu plastů se spotřebuje 8 % světových zásob ropy – 4 % jako vstupní surovina, zbytek jako zdroj energie. Mezi výhody plastů, které zapříčinily jejich rychlé rozšíření, patří nízká objemová hmotnost, tepelná i elektrická izolace a oproti ostatním materiálům snadná a levná zpracovatelnost. Problémem je, že kvůli jejich povaze je nelze zařadit do přirozeného koloběhu látek a z tohoto důvodu je jejich skládkování silně nevhodné. [2], [6]

V komunální sféře jsou plasty využívány hlavně jako obalový materiál a využívají se hlavně plasty spadající do kategorie **termoplasty**. Pro ty je typické, že při zahřívání přecházejí do plastického stavu, ve kterém je možné je snadno tvářet, ale zároveň při něm nedochází ke změnám v chemické struktuře plastu, takže po opětovném ochlazení má materiál stále stejné vlastnosti. Druhy termoplastů nejčastěji se vyskytující v odpadu z domácností jsou polyethylentereftalát (PET), polyetylén (PE), polypropylén (PP), polystyrén (PS) a polyvinylchlorid (PVC) – jejich procentuální zastoupení ukazuje Obr. 2.2. Největší část tvoří PET, což je materiál využívaný na výroby hlavně nápojových lahví. Druhý nejčtenější plast – PE – je používán hlavně k výrobě fólií (k tomuto účelu se používá PE s nízkou hustotou neboli LDPE) a lahví na drogistické zboží a čisticí přípravky (zde se používá PE s vysokou hustotou – HDPE). Poslední významnou složkou je PP, ze kterého jsou vyráběny nejrůznější obaly a nádoby, včetně fólií a tašek. [6]



Obr. 2.2: Složení plastového odpadu z domácností [6]

Recyklace plastů probíhá hlavně formou přepracování na regranulát, který nahrazuje původní surovinu. Druhým způsobem využití je výroba vláken, která se používají pro výrobu textilií pro automobilový průmysl i výrobu oděvů. Problémem těchto způsobů recyklace je to, že je lze aplikovat pouze na jednodruhové plastové odpady. Způsoby recyklace směsi plastů o různém složení mají omezené možnosti a takto vzniklé výrobky nemají velké uplatnění na trhu. Nezanedbatelný je u nich ovšem jejich energetický potenciál, který může být snadno využit v ZEVO. [2]

Papír

Papír a lepenka je materiál, který je složen hlavně z celulózových vláken (neboli buničiny) a dále řady plnidel, tmelů, pigmentů a dalších látek upravujících vlastnosti vzniklého produktu. Primárním zdrojem buničiny je dřevěná vláknina, která je doplňována právě sběrovým papírovým odpadem. Míra využití sběrového papíru pro výrobu nového materiálu je v současnosti zhruba stejná, jako primární suroviny. [2], [6]

Tento materiál není recyklovatelný donekonečna, protože při jeho přepracování dochází ke zkracování celulózových vláken. Po třetím přepracování papíru dochází k výraznému zhoršení jeho vlastností a maximálně může projít 5–7 recyklačními cykly.

Papírové výrobky, které už nelze recyklovat, jsou ale díky své výhřevnosti vhodným zdrojem pro EVO, stejně tak jako papírové odpady příliš znečištěné pro recyklaci nebo kaly vznikající při zpracování sběrového papíru. [2], [6]

Pozitivním dopadem recyklace papíru není pouze úspora primární suroviny a snížení skládkovaného odpadu. Proces výroby papíru je velmi náročný na spotřebu vody, tepelné i elektrické energie a produkuje velké množství pevných, kapalných i plyných odpadů – papírenský průmysl je po chemickém a ocelářském třetím největším producentem skleníkových plynů. Všechny tyto negativní dopady jsou využíváním odpadního papíru sníženy. Produkce kapalných odpadů při recyklaci papíru by mohla být ještě více snížena, pokud by klesly požadavky koncových zákazníků na bělost recyklovaného papíru, který má vlivem přítomných nečistot našedlou barvu a požadavku na bělost se dosahuje přidáváním velkého množství chemikálií jako peroxid vodíku, ozon aj. [6]

Sklo

Sklo je tuhý roztok kovových oxidů v oxidu křemičitém vznikající ochlazením taveniny tak, aby nedošlo ke krystalizaci. Tento materiál pak má dobré mechanické vlastnosti a velmi dobré optické vlastnosti a chemickou odolnost. Při jeho výrobě se používají neobnovitelné suroviny jako sklářský písek, uhličitán sodný (soda) nebo oxid vápenatý (pálené vápno). Tyto suroviny je možné nahradit druhotnou surovinou teoreticky stoprocentně, protože sklo lze recyklovat bez jakýchkoliv ztrát a výrazných změn jeho vlastností. [2], [6]

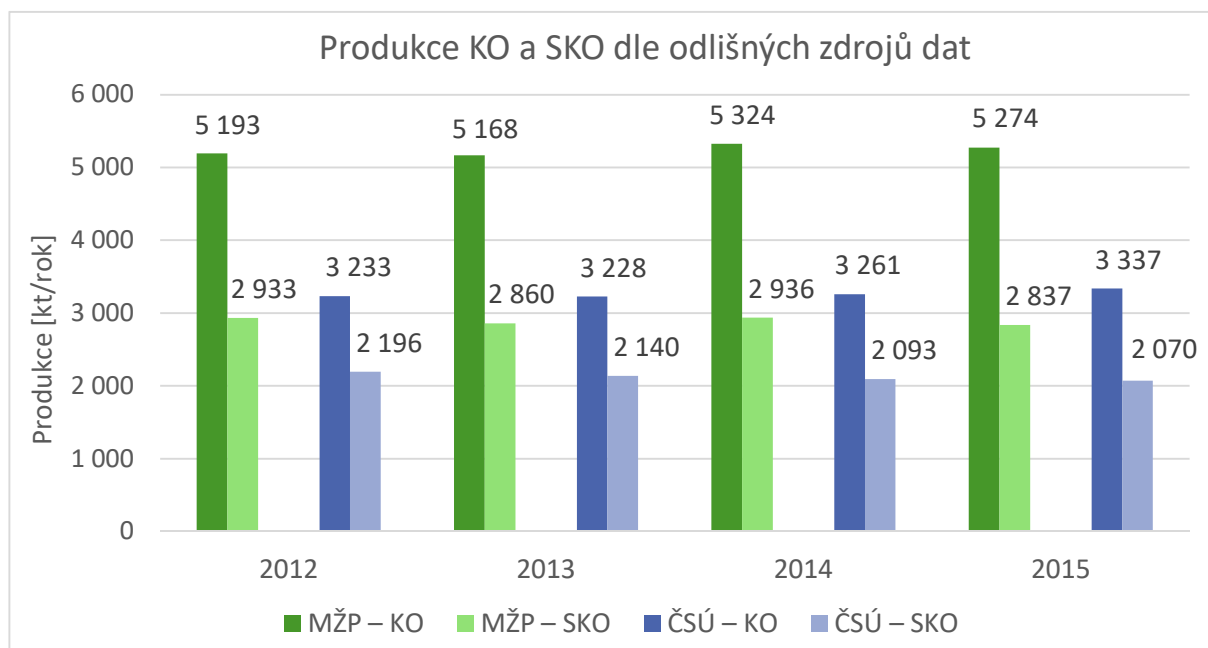
Využití skleněného odpadu při výrobě skla má následující výhody: [2], [6]

- Úspora nákladů na suroviny z hlediska zpracovatele. Zhruba tři čtvrtiny těchto úspor tvoří úspory nákladů za sodu.
- Nižší zatížení pece, čímž může dojít k prodloužení její životnosti.
- Úspora energie – závisí na typu použité pece, ale průměrně se pohybuje kolem 25 % při stoprocentním nahrazení vsázky skleněnými střepy.

Kromě materiálové recyklace mají skleněné obaly velký potenciál pro znovuvyužitelnost, což je dle hierarchie nakládání s odpady (viz. Obr. 1.1) řešení ještě preferovanější než jejich přetavení na nové výrobky. Tímto způsobem je nakládáno hlavně s vratnými skleněnými lahvemi, které využívají výrobci piva. Po spotřebování výrobku a po sběru jsou tyto láhve vyplachovány roztokem alkálií a následně čistou vodou. Takto dojde k jejich očištění i odstranění etiket a jsou připraveny k novému použití. Lahve většinou prodělají 40–70 těchto čisticích cyklů a poté jsou přetaveny. [6]

2.1 Produkce a výskyt cílových složek

Snaha vyjádřit číselně produkci KO a jeho jednotlivých složek je komplikována statistickými nesrovnalostmi, se kterými se na území ČR lze setkat. Sběrem a vyhodnocováním dat z oblasti nakládání s odpady se totiž zabývá jak již zmíněné MŽP, tak Český statistický úřad (dále jen „ČSÚ“), jehož data považuje za relevantní i statistický úřad EU – Eurostat. Mezi těmito dvěma statistikami existují značné rozdíly, jak dokládá Obr. 2.3. Na něm lze vidět, jakou mírou se produkce SKO i KO udávané jednotlivými úřady během několika minulých let vzájemně liší. Důvodem těchto odlišností jsou rozdílné metodické postupy při sestavování statistik. To, na čem se ovšem oba zdroje shodují, je v průběhu let mírně rostoucí produkce KO, a naopak mírně klesající produkce SKO.



Obr. 2.3: Srovnání dat o produkci KO a SKO dle MŽP a ČSÚ v letech 2012–2015

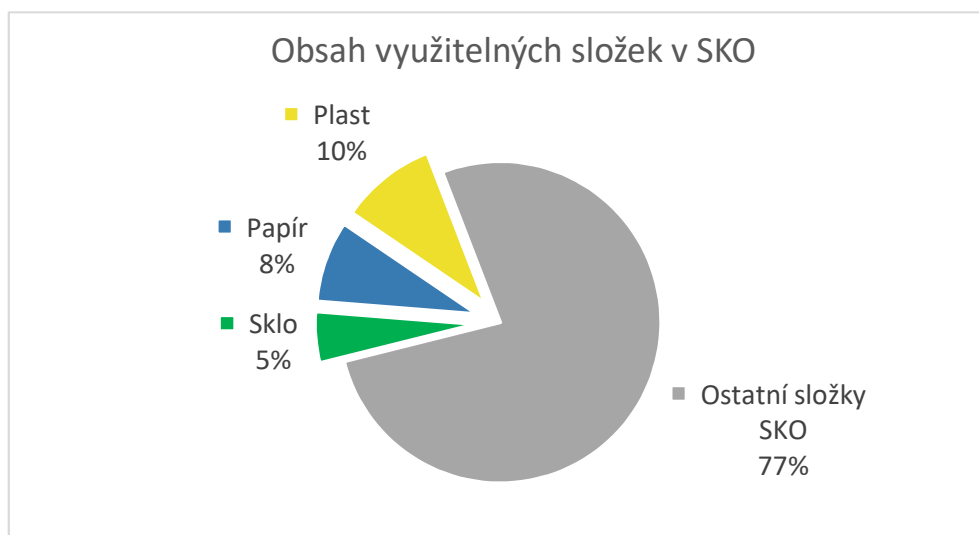
Rozdíly mezi statistikami MŽP a ČSÚ se dotýkají i udávaného množství cílových složek v tříděných sběrech KO, jak lze vidět v Tab. 2.1. Obě sady dat se vztahují k r. 2012, hodnoty udávané ČSÚ představují „odděleně sbírané složky“ a hodnoty udávané MŽP představují množství odpadů spadajících dle Katalogu odpadů do příslušných podkategorií skupin 20 01 a 15 01. Hlavně v případě papírového odpadu lze pozorovat zásadní rozdíl mezi udávanými hodnotami.

Tab. 2.1: Srovnání dat o separaci cílových složek dle MŽP a ČSÚ

Separovaný sběr:	Plastu [t]	Papíru [t]	Skla [t]
Dle statistiky MŽP	114 518	470 612	122 001
Dle statistiky ČSÚ	100 703	147 975	112 872

Cílové složky obsažené v SKO

Cílové složky se v rámci KO nevyskytují pouze v oddělených systémech sběru, ale z důvodu nedostatečného třídění na straně producentů tvoří i významnou část SKO. Díky datům z r. 2015, která shromáždil Ústav procesního inženýrství (dále jen „ÚPI“), lze vyhodnotit stav třídění cílových frakcí z několika hledisek – např. na Obr. 2.4 je zobrazeno hmotnostní zastoupení potenciálně využitelných cílových složek v SKO.



Obr. 2.4: Graf zastoupení využitelných složek v SKO

Významným ukazatelem je tzv. míra separace, která porovnává množství separovaně sbíraných odpadů s jejich celkovou produkcí v rámci KO (tedy se součtem jejich množství v oddělených sběrech i v SKO) – tento a další vybrané ukazatele shrnuje Tab. 2.2. Na základě nich lze prohlásit, že všechny cílové frakce mají dostatečný potenciál pro to být více separovány a tím pádem odkláněny z proudu SKO. Nejvíce toto tvrzení platí pro plastový odpad, jehož podíl v SKO je největší ze všech sledovaných frakcí a efektivita jeho třídění je menší, než 50 % – tedy větší množství plastu končí jako součást SKO, než je separováno.

Tab. 2.2: Ukazatele produkce a třídění cílových frakcí (r. 2015, data ÚPI)

	Plast	Papír	Sklo
Separovaný sběr [t]	122 531	318 800	123 617
Obsah v SKO [t]	202 151	172 046	108 272
Celkové množství v KO [t]	324 682	490 846	231 889
Celkové množství v KO na obyvatele [kg/obyv.]	30,8	46,5	22,0
Míra separace [-]	38 %	65 %	53 %

2.2 Sběr využitelných složek odpadů

Procesy nakládání s jednotlivými využitelnými složkami odpadu se v různých fázích vzájemně liší, existují ovšem čtyři základní stupně recyklace, které jsou pro všechny materiály společné: [6]

- oddělený sběr odpadů,
- dotřídění odpadů,
- zpracování druhotné suroviny na nový výrobek a
- prodej nových výrobků.

Po dotřídění lze odpady většinou začít klasifikovat jako druhotnou surovinu ve smyslu uvedeném v kap. 1.1. Ne vždy se ovšem jedná o surovinu, která by přímo vstupovala do procesu výroby nového výrobku a je nutná její úprava a „povýšení“ na kvalitnější formu druhotné suroviny. Pro příklad lze uvést PET lahve vyseparované na dotřídovací lince z více-druhového plastového odpadu. Takovéto jedno-druhé PET lahve mohou být nazvány druhotnou surovinou, ale před jejich finálním zpracováním musí být důkladně očištěny a nadrceny na sypký materiál. Tento proces úpravy může být považován za samostatný stupeň recyklace, zařazený mezi dotřídění a finální zpracování, nebo za součást procesu finálního zpracování.

Zkušenosti z praxe ukazují, že tříděný sběr je kritický stupeň recyklace, který určuje kvalitu druhotné suroviny získané z odpadů, a tím pádem i možnosti jejího využití ve výrobě. Svoz odpadu potom ve velké míře ovlivňuje náklady na celkové zpracování odpadu. Tato kapitola má za úkol ukázat systémy odděleného sběru cílových frakcí vyskytující se na území ČR. Přílohy A a B tuto kapitolu rozvádí. Příloha A popisuje alternativní sběrové systémy, které lze nalézt v zahraničí, Příloha B zmiňuje detaily sběru jednotlivých cílových frakcí. [6]

Systémy sběru recyklovatelných odpadů v ČR

Na území ČR se využitelné složky KO sbírají odděleně na základě jejich materiálového složení – znamená to tedy, že plast, papír i sklo se sbírají odděleně. Kompozitní obalové materiály, jako např. nápojové kartony, bývají občas sbírány samostatně, jindy společně s plastovým nebo papírovým odpadem. Nejčastěji se lze setkat s následujícími systémy odděleného sběru:

- donáškový způsob,
- nádobový odvozový způsob a
- pytlový odvozový způsob.

Donáškový způsob

Tento systém je vhodné využít v zástavbě rodinných, případně i panelových domů. Důležitá je při něm aktivní účast obyvatelstva. Spočívá v umístění kontejnerů o větším objemu (660–4000 l) s horním nebo spodním výsypem na místa frekventovaně navštěvovaná obyvatelstvem – obchody, zastávky MHD, úřední budovy apod. Většinou jsou na dané místo umísťovány kontejnery pro čiré i barevné sklo, papír a plasty. Čím dál

častěji je praktikováno používání samostatných kontejnerů pro nápojové kartony a pro kovové obaly. To, jak takové kontejnerové „hnízdo“ vypadá, lze vidět na Obr. 2.5. [3]



Obr. 2.5: Kontejnery pro donáškový sběr tříděného odpadu [7]

Nově je možné se na řadě míst (hlavně v historických centrech měst) setkat s podzemními kontejnery. Jejich použití je pro město výhodnější z hlediska estetiky, pořizovací náklady jsou však v tomto případě mnohonásobně vyšší než u klasické varianty. Příklad provedení a manipulace s podzemními kontejnery lze vidět na Obr. 2.6 [3]



Obr. 2.6: Podzemní kontejnery při jejich vyprazdňování [8]

Se zvyšující se docházkovou vzdáleností obyvatelstva klesá výtěžnost tohoto systému, pro efektivní provoz by neměla přesáhnout 100–200 m. Dále je nutné dbát na počet

obyvatel připadajících na jedno hnízdo – v panelové zástavbě je to cca 400 obyvatel, v zástavbě rodinných domů asi 200 obyvatel. [3]

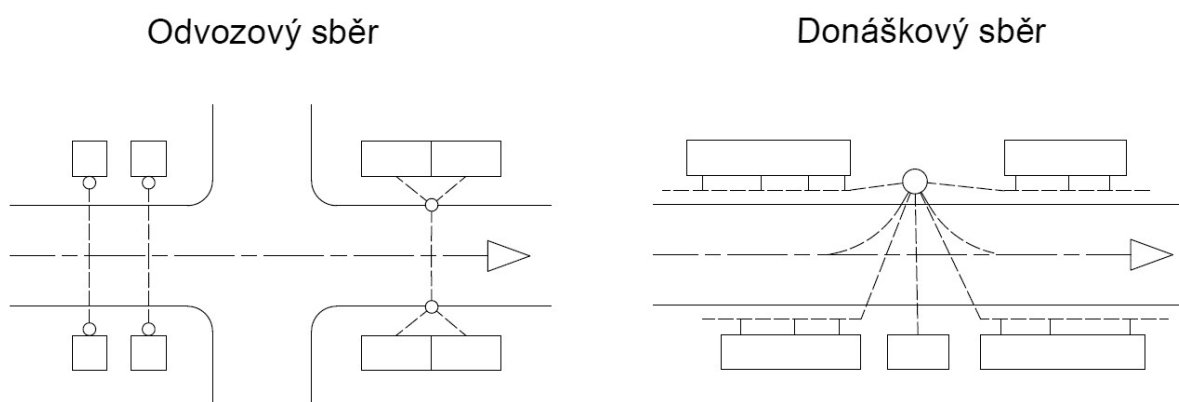
Nádobový odvozový způsob

Největší uplatnění má tento systém v zástavbě bytových domů, které mají vnitrobloky nebo dvory – takovou zástavbu lze nalézt hlavně v historických částech měst. Použitelný je ovšem také v zástavbě s rodinnými domy. Odvozový způsob funguje na principu umístění sběrných nádob o menších objemech (80–360 l) do těsné blízkosti obyvatelstva. V případě bytové zástavby to znamená umístění právě do vnitrobloku či dvora, což je často také stanoviště sběrných nádob na SKO. V případě zástavby rodinných domů je možné vzhledem k nízké výtežnosti surovin instalovat větší nádoby do místa společného pro 2–5 rodinných domů. Ukázka instalace sběrných nádob pro tento způsob sběru je na Obr. 2.7. [3]



Obr. 2.7: Nádoby pro odvozový způsob přistavené u domu [9]

K prezentaci rozdílu mezi odvozovým a donáškovým způsobem sběru slouží schéma na Obr. 2.8.



Obr. 2.8: Schéma odvozového a donáškového sběru [10]

Pro správnou funkci systému by docházková vzdálenost k nádobám neměla přesáhnout 30 m. Důležité také je, aby v případě bytové zástavby byl zajištěn přístup obsluhy k nádobám, které jsou umístěny v prostorách bytových domů. [3]

Pytlový odvozový způsob

Tento systém je variací odvozového způsobu, kdy místo nádob jsou domácnostem rozdávány plastové pytle určené k shromažďování odpadu a po naplnění jsou v určené svozové dny sbírány a odváženy. Použitelnost tohoto způsobu sběru je spojena hlavně s rodinnými domy, u kterých je zajištěn dostatek místa pro skladování několika naplněných pytlů. Využití tohoto způsobu sběru je zachyceno na Obr. 2.9. Při svozu se pytle do svozového auta z časových důvodů nevyprazdňují, materiál je při převozu ponechán v daných pytlích a není lisován.



Obr. 2.9: Pytlový odvozový způsob sběru v praxi [11]

Porovnání hlavních rysů zmíněných systémů, včetně jejich hlavních výhod a nedostatků, je k dispozici v Tab. 2.3

Tab. 2.3: Shrnutí hlavních parametrů zmíněných systému sběru [3]

	Donáškový	Nádobový odvozový	Pytlový odvozový
Vhodné využití systému	rodinné domky; panelová sídlištní zástavba; bytové domy	bytové domy v historických částech měst; rodinné domky	rodinné domky
Počet obyvatel na 1 hnízdo	200 – 400	4 – 15	1 domácnost
Donášková vzdálenost	100 – 200 m	0 – 30 m	0 m
Sběrné nádoby	a) kontejnery se spodním výsypem (0,5 – 3,5 m ³) b) kontejnery s horním výsypem (1100 l)	plastové popelnice (80 – 360 l)	plastové barevné pytle (70 – 120 l)
Umístění nádob/pytlů	určená místa v obci	a) v prostoru bytových domů (vnitroblok, ...) b) před rodinnými domy	v jednotlivých domácnostech
Kvalita vytríděných surovin	nízká	vysoká	vysoká
Účinnost sběru	nízká	vysoká	vysoká
Výhody	<ul style="list-style-type: none"> nízká frekvence svozu nízké nároky na organizaci u obyvatel 	<ul style="list-style-type: none"> pozitivní odezva obyvatel snadná manipulace se sběr. nádobami 	<ul style="list-style-type: none"> nízké pořizovací náklady nulové náklady za údržbu nádob
Nedostatky	<ul style="list-style-type: none"> výtěžnost prudce klesá s donáškovou vzdáleností riziko vandalizace nádob 	<ul style="list-style-type: none"> vysoká frekvence svozu vysoké pořizovací náklady složitá organizace sběru 	<ul style="list-style-type: none"> vysoká frekvence svozu nutnost následného vyprázdnění pytlů provozní náklady na dodávku pytlů

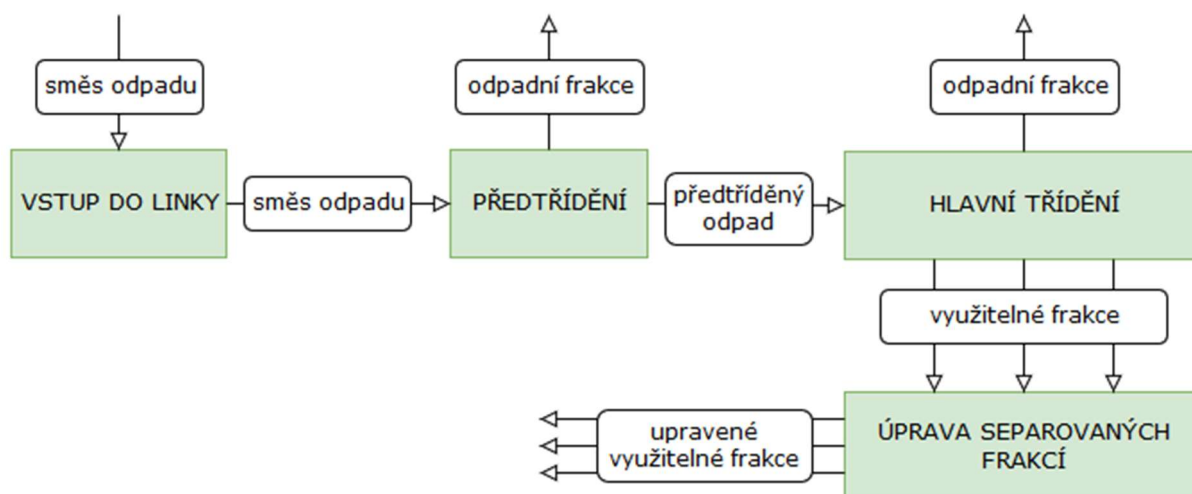
3 Úprava odpadu na dotřídovacích linkách

Sběr a svoz využitelných složek KO je následován jejich přepravou k dalšímu zpracování. Cílem tohoto zpracování je povýšit sebraný odpad na uplatnitelnou druhotnou surovinu, k čemuž dochází vyseparováním znečišťujících příměsí a roztříděním využitelných složek na frakce, po kterých existuje reálná poptávka ze strany zpracovatelů. Zařízení, která tuto úpravu odpadu zajišťují, se nazývají **třídící** nebo **dotřídovací linky**. Rozdíl mezi těmito dvěma termíny není přesně vymezen, proto jsou pro potřeby práce vytvořeny tyto definice:

- **Třídící linka** – zařízení, na kterém dochází k třídění odpadu, který vznikl netříděným nebo pouze minimálně tříděným sběrem. Lze tak chápat zařízení, na kterém se zpracovává SKO nebo směs využitelných složek sbíraných společně (např. směs plastových, skleněných i kovových obalů).
- **Dotřídovací linka** – zařízení, na kterém dochází k dotřídění proudů odpadu, které jsou výrazně separovány již u zdroje, jako například separovaně sbíraný papír, sklo nebo plast.

3.1 Princip fungování linek

Co se týče základního principu fungování, není mezi třídící a dotřídovací linkou příliš velký rozdíl. To, jak je které zařízení komplexní, je z velké míry dáno počtem separovaných frakcí – většinou lze prohlásit, že dotřídovací linky jsou technologicky jednodušší než třídící, výjimku však tvoří linky na dotřídění skleněného odpadu.



Obr. 3.1: Obecné schéma linky pro třídění odpadu

Na Obr. 3.1 je zobrazeno obecné schéma linky, které její technologii rozděluje do čtyř subsystémů, a navíc ukazuje toky materiálu mezi nimi. Tyto subsystémy jsou:

- **Vstup do linky:** je tvořen systémem dopravníků kontinuálně dávkujících materiál do následujících subsystémů, na některých linkách jsou ovšem

zavedeny i jiné technologie pro např. zrovnoměrnění toku odpadu. Kromě strojních technologií se do tohoto subsystému dají zahrnout také různá řešení uskladnění zpracovávaného odpadu před jeho dávkováním na linku. Celá technologie linky bývá nejčastěji umístěna v průmyslové plechové hale (nejvýhodnější řešení), jejíž velikost je velmi často dimenzována tak, aby v ní byl dostatek místa nejen pro linku, ale i právě pro skladování odpadu. Alternativním řešením je skladování odpadu v separované hale a jeho následná doprava (systémem dopravníků) mezi halami.

- **Předtřídění:** existuje řada technologických řešení na bázi sít a separátorů pro předtřídění daného odpadu, které má usnadnit následné hlavní třídění a tím zvýšit kvalitu a prodejnost výstupních využitelných frakcí. Předtřídění probíhá na základě rozdílných fyzikálních a materiálových vlastností složek, ze kterých se směs odpadu skládá (velikost, objemová hmotnost aj.).
- **Hlavní třídění:** je nejkritičtější část celého procesu, která je většinou prováděna ručně. Řada pracovníků stojících u pásového dopravníku na vyvýšené platformě vybírá ze směsi odpadu ty konkrétní frakce, které mají být vytrženy. Každou z nich mohou separovat dva i více pracovníků stojících proti sobě či vedle sebe – viz Obr. 3.2. Pracovníci shazují vybrané frakce do přidělených shozů, které ústí pod platformu, kde je připraven sběrový kontejner, případně materiál padá volně na podlahu a prostor pod platformou je rozdělen na kóje pro jednotlivé frakce. Neroztříděný zbytek – výmět – je na konci dopravníku přepadem shazován taktéž do připraveného kontejneru.

Existují i automatizované systémy pro hlavní třídění odpadu, které mohou s lidskou obsluhou pracovat v kooperaci nebo ji zcela nahradit. O těchto pojednává mimo jiné Kap. 3.2.3

- **Úprava využitelných frakcí:** samotné roztřídění odpadu na využitelné složky je málokdy poslední krok na lince, protože přeprava volně loženého materiálu k finálnímu zpracovateli by byla zbytečně nákladná. Po separaci jsou dané složky dopravovány buď opět systémem dopravníků či manipulační technikou do zařízení pro úpravu odpadu, kterým je většinou lis.



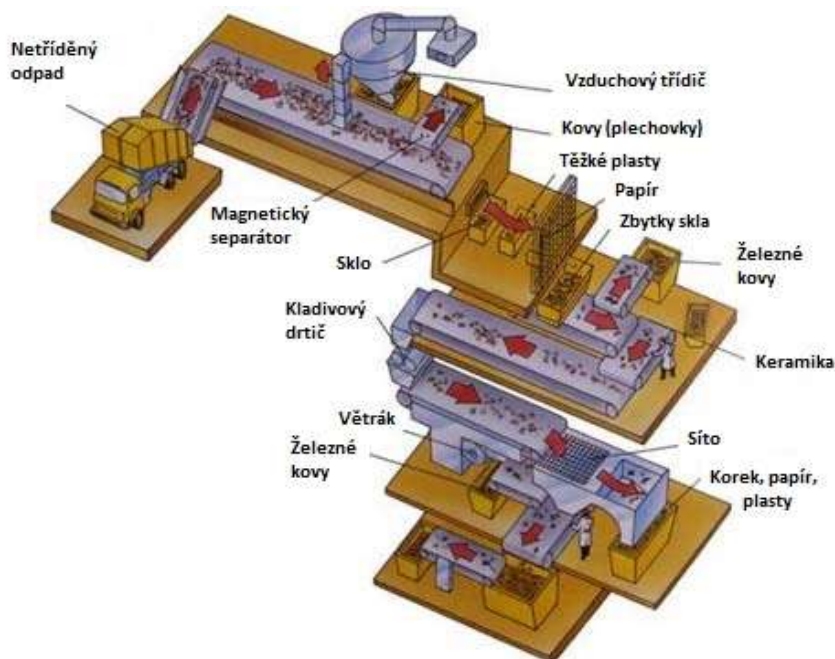
Obr. 3.2: Hlavní třídění prováděné manuálním způsobem [12]

3.2 Technologické vybavení dotříd'ovacích a třídících linek

Ačkoliv je praktická část práce zaměřena na dotříd'ovací linku spoléhající převážně na manuální obsluhu, věnuje se tato kapitola i pokročilým technologiím používaným na automatizovaných dotříd'ovacích a na třídících linkách – cílem této kapitoly je totiž vytvořit přehled co nejucelenější. Schémata relativně jednoduché manuální dotříd'ovací linky a naopak sofistikované automatizované linky lze srovnat z Obr. 3.3 a Obr. 3.4. Technologické prvky popisované v této kapitole budou zařazovány do jednotlivých subsystémů definovaných výše.



Obr. 3.3: Schéma dotříd'ovací linky s převážně manuální obsluhou [13]



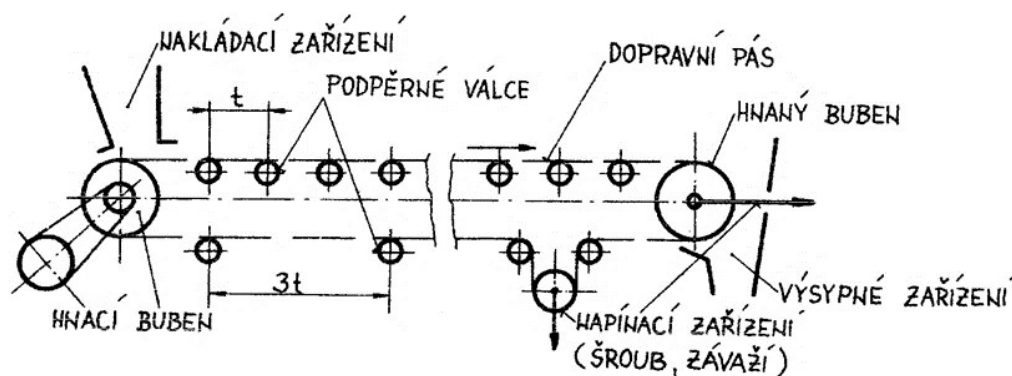
Obr. 3.4: Schéma vysoce automatizované třídící linky s výstupní kontrolou [14]

3.2.1 Vstup do linky a doprava materiálu

Vstup materiálu do linky a jeho dopravu celou zbývajících technologií zajišťují dopravníky, které se tak stávají nejdůležitějším strojním zařízením linek. Využívány jsou dopravníky **pásové** (pro čistě vodorovný pohyb) nebo **řetězopásové** (pro pohyb pod sklonem). Níže jsou oba tyto typy popsány, stejně tak jako další technologické prvky, které se mohou na vstupu do linky nacházet.

Pásové dopravníky

Pásové dopravníky jsou určeny k přemísťování sypkých, zrnitých i kusových materiálů ve vodorovném i mírně skloněném směru. Schéma takového dopravníku lze vidět na Obr. 3.5. Hlavním prvkem tohoto zařízení je pás mající nosnou i tažnou funkci. Pásky jsou nejčastěji vyrobeny z pogumovaných textilií, ale lze se setkat i s pásy kovovými či tkaninovými. Dalšími důležitými částmi dopravníku jsou hnací buben, který třením uvádí pás do pohybu, a hnaný buben, který udržuje pás napnutý. Povrchy bubnů mohou být hladké nebo ošetřeny gumovými či keramickými materiály pro zvýšení tření mezi nimi a pásem. [15]



Obr. 3.5: Schéma pásového dopravníku [15]

Podpěrné válce zajišťují pásu rovinnou polohu a brání před jeho prohnutím. Tyto válce se navíc dají uspořádat tak, že jimi lze cíleně ohnout pás do tvaru korýtky, což vede k vyšší dopravní kapacitě – viz Obr. 3.6. Pro materiály s menší objemovou hmotností se lože s podpěrnými válci dá nahradit kluzným pevným ložem. [15], [16]



Obr. 3.6: Pásový dopravník s podpěrnými válci tvořícími prohnutí pásu [17]

Řetězopásové dopravníky

Tento typ dopravníku je zpravidla konstruován s kluzným pevným ložem. Pás je veden dvojicí řetězů na okrajích dopravníku spojených příčnými profily. Samotný gumový pás je pak připevněn právě k těmto profilům. Na páse jsou v pravidelných vzdálenostech rozmístěna kovová hradítka, která při dopravě pod úhlem zabraňují sesypávání materiálu. Alternativou ke gumovému pásu pro náročnější provozy jsou kovové lamely o dostatečně malé šířce, aby neomezovaly flexibilitu celého pásu. [18]

Dopravníky mohou být rovné, ale i lomené do tvaru „L“ nebo „Z“, přičemž spodní vodorovná část je často zapsa pod úroveň podlahy pro snadnější zakládání materiálu. Nosnost těchto dopravníků na 1 m dopravního pásu je větší než u pásových, na dotříd'ovacích linkách se proto používají na vstupu (jak lze vidět na Obr. 3.7), pro zásobování lisu vytríděným materiálem či obecně kdykoliv, kdy je potřeba dopravovat materiál pod úhlem. [18]

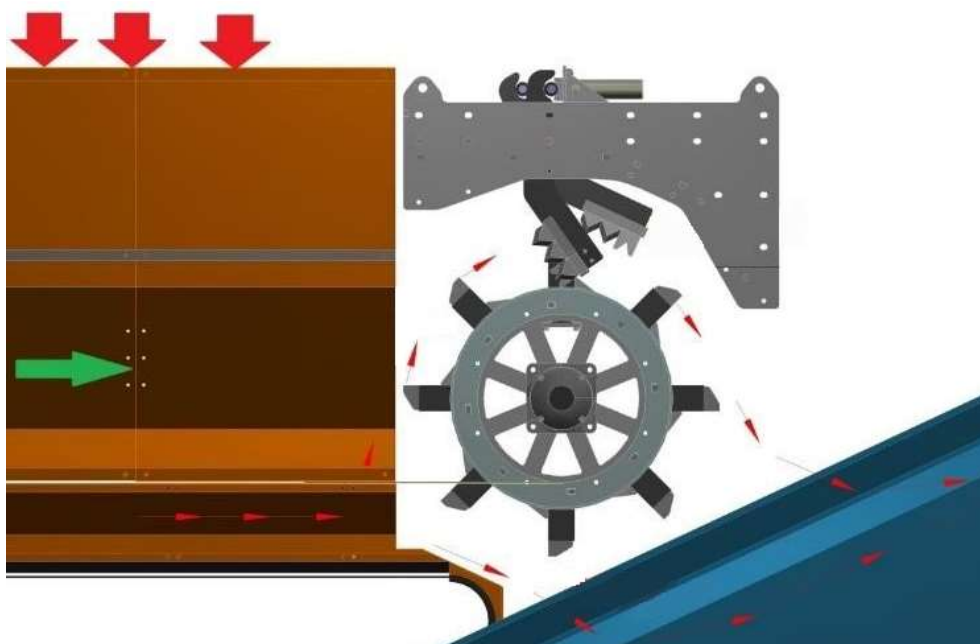


Obr. 3.7: Řetězopásový dopravník na vstupu dotříd'ovací linky [19]

Řezačka sběrových pytlů

Využití tohoto zařízení je hlavně na linkách, které třídí materiál, jenž byl sebrán pytlovým sběrem, častěji ho tedy lze nalézt na třídících linkách. S rozšiřujícím se výskytem pytlového sběru využitelných složek KO ovšem nabývá na významu i na linkách dotříd'ovacích, hlavně na těch s větší kapacitou, kde vyprázdnění pytlů s odpadem přestává být uskutečnitelné obsluhou dávkující materiál na pás.

Technologické řešení těchto řezaček může mít několik variant. Velmi rozšířená je varianta, jejíž princip je na Obr. 3.8. Pohyblivé ostří je zde upevněno na válcové rotační ploše, pevné ostří má z bezpečnostních důvodů možnost mírného pohybu. Součástí celého zařízení je kontejner, do kterého je materiál dávkován většinou manipulační technikou, a dopravník fungující jako podávací ústrojí. Objemné pytle s odpadem jsou pohyblivými noži taženy k pevným nožům a následně rozřezány a vysypány. Drobný, nepytlový odpad odchází bez interakce s ostřími prostorem pod nimi, čímž nedochází k jeho nežádoucímu zdobňování, které by komplikovalo následné třídění. [20]



Obr. 3.8: Schéma funkce řezačky odpadních pytlů [21]

3.2.2 Předtřídění

První hrubé předtřídění, které zahrnuje hlavně separaci extrémně nevyhovujících materiálů z proudu zpracovávaného odpadu, lze provádět ručně na začátku linky. Další předtřídění má za účel rozdělit tok směsi odpadů dle různých kritérií do více kategorií, které se pak zpracovávají samostatně. K tomuto účelu se používají zařízení popisovaná níže.

Rotační třídič

Hlavním pracovním prvkem tohoto zařízení je rotující buben válcového nebo mnohoúhelníkového průřezu s perforovanými stěnami. Osa tohoto bubnu je skloněná pod úhlem většinou 3–4° a k samotnému třídění tak dochází posunem materiálu vlastní tíhou od zvýšeného ke sníženému konci bubnu. Materiál o velikosti menší než velikost děr ve stěnách (nazývaný podsítná frakce) propadne do prostoru pod bubnem, kde může být shromažďován do kontejneru nebo může dopadat na dopravník a být dopravován k dalšímu zpracování. Materiál větší než velikost otvorů ve stěnách (nazývaný nadsítná frakce) je na konci bubnu vysypáván přes násypku na dopravník a poslán dál do linky. [22]

Třídič může být využit jak k prosívání odpadní podsítné frakce od užitečné nadsítné, tak k rozdělení vstupní směsi na dvě užitečné frakce zpracovávané samostatně. Možné je i získání více než dvou frakcí zařazením více třídičů kaskádovitě za sebou, z nichž každý má jinou velikost prosívacích otvorů. Příklad tohoto zařízení lze vidět na Obr. 3.9. [22]



Obr. 3.9: Rotační třídič [23]

Vzájemné omílání tříděného materiálu brání zanášení prosívací plochy, a navíc díky němu dochází k rozbíjení případných shluků materiálu. Další významnou funkcí tohoto zařízení je rovnoměrná distribuce výstupního materiálu, která usnadňuje jeho další zpracování. [22]

Třídič s posuvnými roštnicemi

Aktivní část tohoto zařízení je tvořena soustavou hřídelí, na kterých jsou umístěny tvarované kotoučové náboje (například hvězdicové náboje, viz Obr. 3.10). Hřídelemi je rotováno ve směru pohybu materiálu, což posouvá materiál po třídicí ploše a frakce, která je menší než rozteč kotoučů, propadáva mezerami mezi nimi. Samotný rotační pohyb hřídelí může být vyvolán například soustavou ozubených kol a řetězu. Stejně jako v případě rotačního třídiče, i v tomto případě je možné skládat zařízení s různými roztečemi nábojů za sebe a tím dosáhnout rozdělení toku odpadu na více než dvě frakce. [15], [24]

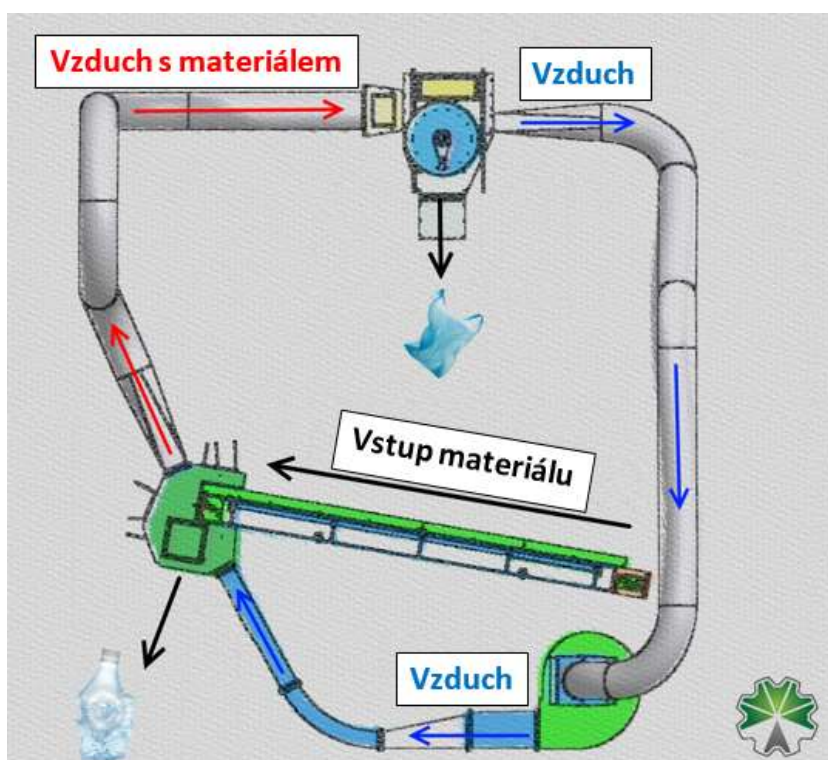


Obr. 3.10: Třídič s posuvnými roštnicemi [24]

Vzduchový třídič

Použitím vzduchového třídiče lze zpracovávaný materiál rozdělit na tzv. lehkou a těžkou frakci. Uplatnění tak nachází zejména při dotřídění plastového odpadu, protože se jeho pomocí dají snadno oddělit fólie od dutých obalových plastů. Princip fungování tohoto zařízení lze vidět na Obr. 3.11. [25]

Větrák vytváří v potrubním systému proud vzduchu, který se v nasávacím prostoru mísí s materiálem přiváděným dopravníkem. Odsud je lehká frakce hnána spolu se vzduchem směrem vzhůru zatímco těžká frakce padá směrem dolů na připravený dopravník. V horní části potrubního systému je snížena rychlost proudění vzduchu (např. rotačním ventilem), což má za následek oddělení lehké frakce a její vypadávání na další dopravník. Vzduch dále pokračuje přes prachový filtr zpět do větráku a celý cyklus se opakuje. [25]



Obr. 3.11: Princip fungování vzduchového třídiče [25]

Balistický třídič

Při použití tohoto zařízení, které lze vidět na Obr. 3.12, je vstupující směs roztříděna na 3 frakce: [26]

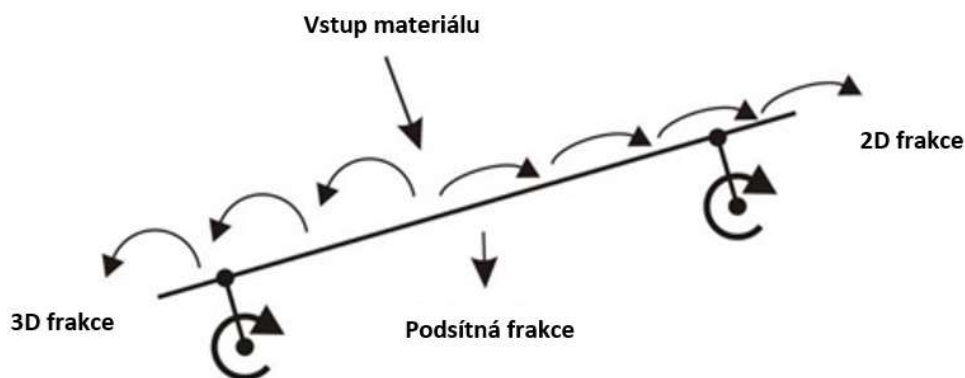
- **3-D frakce** – nazývaná také **těžká** nebo **valivá** frakce. Je tvořena obalovými lahvemi z PET nebo HDPE, plechovkami, skleněnými lahvemi, nápojovými kartony a podobnými elementy.
- **2-D frakce** – nazývaná též **lehká** nebo **plochá** frakce. Tvoří ji, jak název napovídá, ploché odpady jako papíry, fólie, lehká lepenka apod.

- **Podsítná frakce** – drobná frakce o malých rozměrech, představující většinou znečišťující látky či nevyužitelné odpady.



Obr. 3.12: Balistický separátor [27]

Hlavním prvkem je série podlouhlých, rovinných sít, umístěných vedle sebe a sklopených od vodorovné polohy většinou o 10–20°. Tato síta jsou pomocí klikových hřídelí uváděna do pohybu, který je kmitavý ve směru vodorovném i svislém a sousední síta kmitají s rozdílným fázovým posunem. Díky tomuto pohybu je příchozí materiál neustále nadhazován, jak je znázorněno na Obr. 3.13. Každá ze třech výše definovaných frakcí potom dopadá zpět na síta po jiné balistické křivce, což zapříčiní jejich rozdílný pohyb po sítě. Podsítná frakce propadává otvory v sítě, 2-D frakce je nadhazováním posouvána směrem vzhůru a konečně 3-D frakce se po sítě valí směrem dolů. [26]



Obr. 3.13: Schéma funkce balistického separátoru [28]

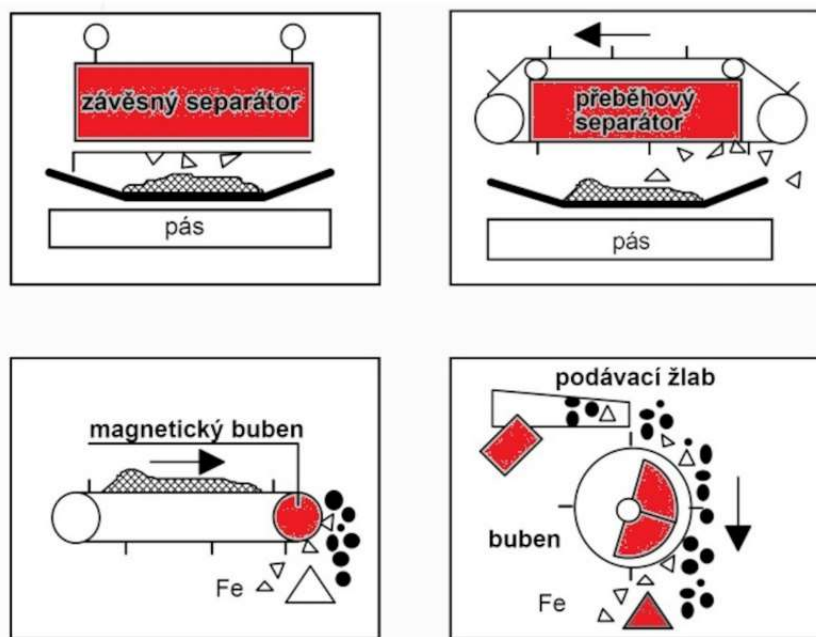
3.2.3 Hlavní třídění

Jak již bylo zmíněno, hlavní třídění, při kterém se směs vstupních odpadů (ať už ve formě jednoho nebo více proudů vzniklých předtříděním) rozděluje na prodejné frakce,

probíhá hlavně ručním způsobem. Existují ale technologická řešení, která jsou schopna zajistit automatizovanou separaci některých složek.

Separátory magnetických kovů

Separace magnetických kovů je poměrně snadno docílitelná použitím permanentních magnetů, případně elektromagnetů. Konkrétní konstrukční provedení záleží hlavně na četnosti kovových odpadů ve směsi. Čtyři často používané varianty jsou schematicky zobrazeny na Obr. 3.14. [29]



Obr. 3.14: Schémata variant provedení separátorů magnetických kovů [30]

Při malé četnosti kovové frakce je možné použít stacionární separátor, u kterého musí být odvod odpadu zajišťován obsluhou. Při větším obsahu je vhodné zajistit kontinuální a automatický odvod. Toho lze docílit několika způsoby: [29]

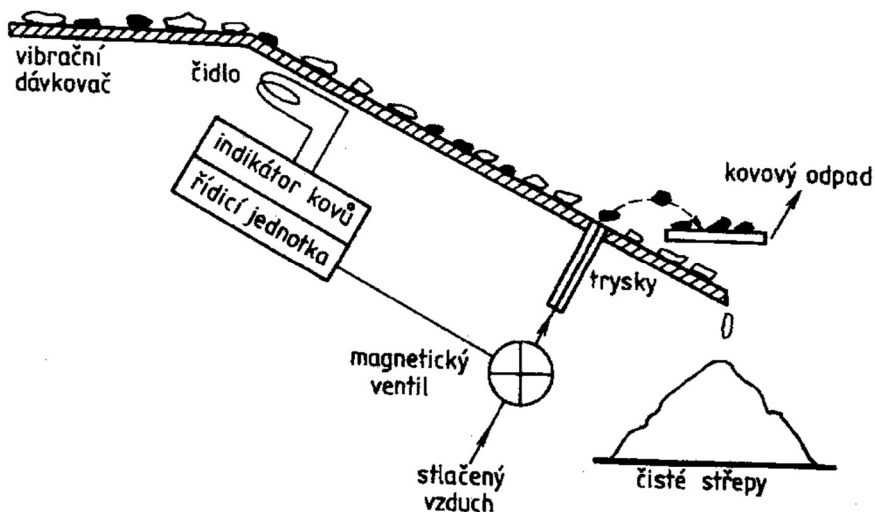
- umístěním magnetu uvnitř dopravníkového systému, jehož pás pak kovový odpad vynese mimo hlavní tok (jak lze vidět na Obr. 3.15),
- umístěním statického magnetu do bubnu dopravníku unášejícího materiál, čímž dojde na jeho konci k pádu magnetického odpadu jiným směrem, než padá odpad nemagnetický,
- pro materiály s malou granulometrií lze použít bubnový separátor fungující v zásadě stejně jako magnetický buben dopravníku.



Obr. 3.15: Přeběhový separátor magnetických kovů [30]

Detektory a vylučovače kovů

Princip funkce tohoto zařízení spočívá v souhře více jednotek. První z nich je detektor kovů, který dokáže v proudu odpadu odhalit přítomnost kovu bez ohledu na jeho magnetické vlastnosti. Tím může být např. indukční snímač, který detekuje změnu indukce mezi budící a snímací cívkou. Na základě signálu obdrženého z detektoru pak řídicí automatika ovládá akční člen, který odstraní kovovou nečistotu spolu s malým množstvím užitečného odpadu. K tomuto odstranění lze použít vzduchovou trysku nebo klapku, která rozdělí volně padající proud odpadu. Schéma tohoto zařízení použitého pro separaci kovů ze skleněného odpadu lze vidět na Obr. 3.16. [6], [31]

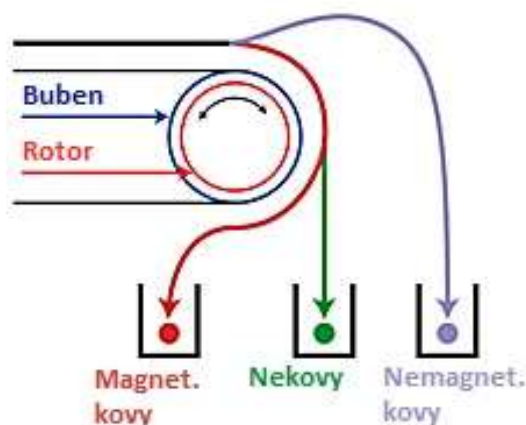


Obr. 3.16: Schéma separace všech kovů při dotříd'ování skleněných střepů [32]

Separace pomocí vířivých proudů (ECS – Eddy Current Separation)

Oddělení jak magnetických, tak nemagnetických kovů je možné využitím vířivých proudů. Ty vznikají v elektrických vodičích, když se v jejich okolí mění magnetický indukční tok. Praktická realizace zařízení, které tento jev využívá, je schematicky zachycena na Obr. 3.17. Uvnitř hnacího bubnu dopravníku jsou, podobně jako u výše zmíněného separátoru magnetických kovů, umístěny silné permanentní magnety. Tyto

magnety jsou ovšem umístěny na rotoru, který se otáčí mnohem rychleji a nezávisle na rotaci samotného bubnu. Touto rotací vzniká magnetické pole s proměnnou indukcí, které i v nemagnetických kovech indukuje vířivé elektrické proudy, které poté opět naopak vytvářejí pole magnetické. Výsledkem celého tohoto procesu je odpuzivá magnetická síla, která „odhazuje“ nemagnetické kovy do větší vzdálenosti, zatímco nekovový odpad z konce dopravníku pouze padá volným pádem. Magnetické kovy jsou separovány stejně, jako bylo zmíněno výše – „přichycením“ k pásu vlivem přitažlivé magnetické síly ho opouští později než nekovový odpad. [33]

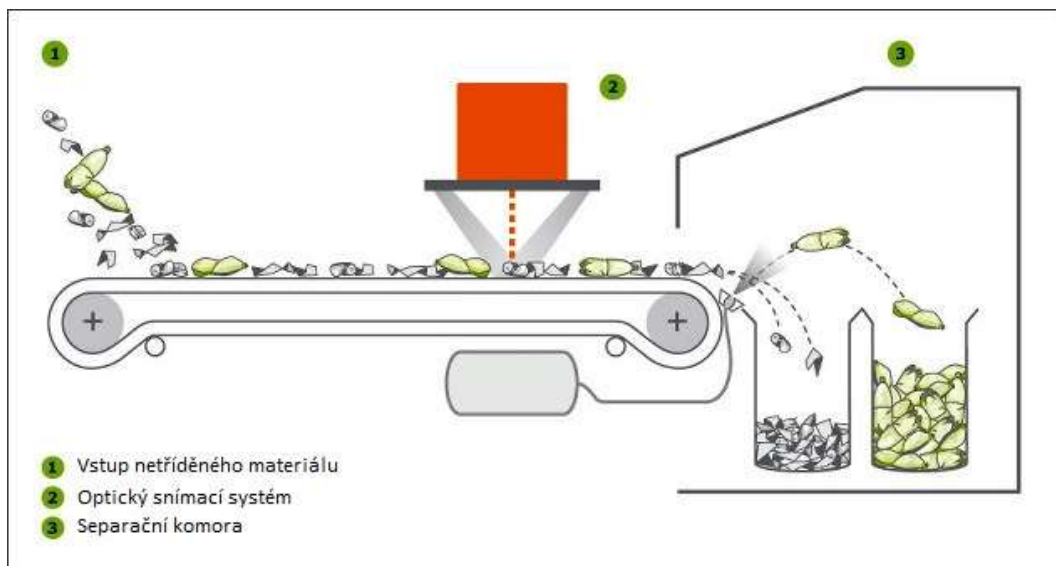


Obr. 3.17: Schéma funkce separátoru využívajícího vířivé proudy [33]

Automatické optické třídící zařízení

Toto zařízení, jehož schéma je ukázáno na Obr. 3.18, je nejvíce využitelné pro třídění směsného plastového odpadu. Skládá ze 2 funkčních částí: [34], [35]

- **Snímací systém** – obsahuje zdroj elektromagnetického záření, které je vysíláno na procházející materiál na pásu pod ním a následně je částečně odráženo do snímače a částečně absorbováno materiálem. Na základě této odpovědi zařadí řídicí automatika daný kus materiálu do určité kategorie. Dle využitého snímače, a tím pádem způsobu použití dělíme tyto systémy:
 - **NIR (Near Infrared) snímač** – vysílá blízké infračervené záření (vlnová délka cca 760–2500 nm), jehož absorpce v materiálu závisí na jeho chemickém složení. Lze tak rozdělit odpad dle typu plastu a vyřadit znečištěné obaly.
 - **VIS (Visible) snímač** – vysílá viditelnou část elektromagnetického spektra (vlnová délka cca 390–760 nm), jehož odraz závisí na barvě daného předmětu. Lze jím tedy např. roztrždit jedno-druhovému PET lahve podle barvy.
- **Akční člen** – vykonává samotné rozdělení odpadů. Podobně jako u vylučovače kovů, velmi často se k tomuto účelu využívá vzduchová tryska.



Obr. 3.18: NIR optický třídící systém [36]

3.2.4 Úprava separovaných frakcí

Zásobníky separovaných frakcí

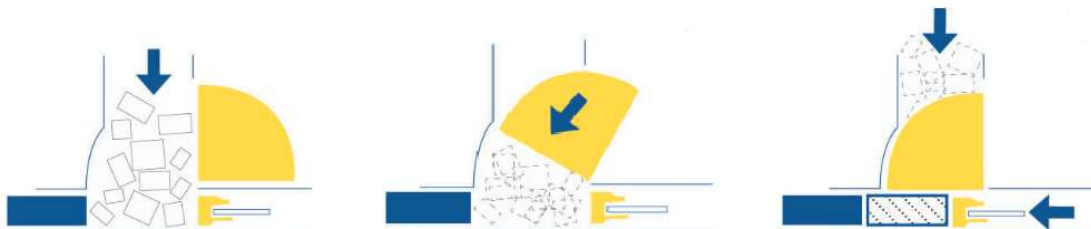
Roztříděné odpady, ať už ručně nebo automatizovanými postupy, je potřeba po určitou dobu skladovat. Často používaná technologie jsou zásobníky s dopravníkovým dnem a uzavíratelnými předními vraty jako na Obr. 3.19. Díky nim lze snadno držet jednotlivé frakce odděleně do té doby, než dojde k jejich dostatečnému nahromadění, načež jsou ze zásobníku dopravovány na pás, který dávkuje frakce po jedné do technologie na konci procesu (např. lis). [37]



Obr. 3.19: Zásobníky separovaných frakcí s dopravníkovým dnem [38]

Lis

Lisy na dotříd'ovacích linkách slouží ke zhutnění materiálů, jejichž doprava i skladování by jinak bylo prostorově a tím pádem i ekonomicky náročné. Princip funkce lisu se dvěma stupni lisování ukazuje Obr. 3.20 a jeho reálné provedení Obr. 3.21.



Obr. 3.20: Schéma funkce lisu se dvěma stupni lisování [39]

Materiál je řetězopásovým dopravníkem a násypkou dopraven do lisovací komory. Jakmile je dostatečně zaplněna, sekundární beran ji shora uzavře a tím zároveň dojde k prvnímu stlačení materiálu. Poté materiál stlačuje hlavní beran až do fáze, kdy má balík požadovanou délku. Proces lisování tak končí, otevírá se východ z komory a hlavní beran balík vytlačí. Při odchodu ze zařízení jsou balíky navíc ještě svázány dráty, aby nedošlo k jejich rozsypaní. [39]



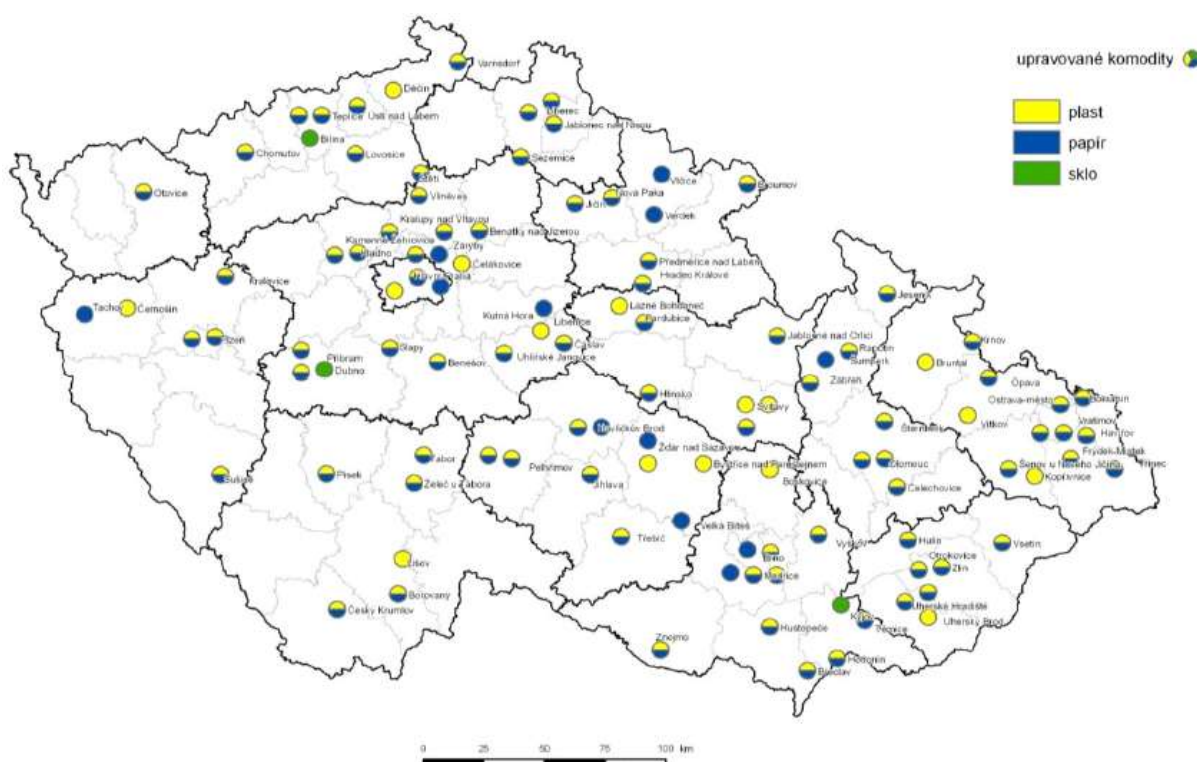
Obr. 3.21: Lis se dvěma stupni lisování v provozu [39]

3.3 Dotřídění využitelných složek v ČR

Dle dat z roku 2011 bylo v daném období provozováno na území ČR: [2]

- 5 linek na dotřídění pouze skleněného KO
- 12 linek na dotřídění pouze papírového KO
- 16 linek na dotřídění pouze plastového KO
- 81 linek na kombinované dotřídění papírového i plastového KO (a případně i nápojových obalů)

Zobrazení výskytu většiny z těchto zařízení na mapě je na Obr. 3.22. Mnohem nižší výskyt linek na sklo je dán jejich rozdílným charakterem (popis linek na dotřídění skla je k práci přiložen jako Příloha C).



Obr. 3.22: Mapa výskytu dotřídovacích linek jednotlivých komodit v ČR [2]

Linky pro dotřídění papíru nebo plastů

Princip těchto zařízení je stejný, jak je popisován v kap. 3.1 a zobrazen na Obr. 3.3. Důležité je zdůraznit, že hlavním účelem těchto zařízení je pouze získat ze sbírané směsi využitelné odpady rozdělené do jednotlivých prodejných frakcí a následně je ve formě slisovaných balíků prodat. Důkladnější úprava odpadů – jako například jejich čištění nebo drcení (myšleno hlavně v souvislosti s plastovým odpadem) – může být na linkách provozována pro zlepšení výkupní ceny frakcí, není to však nutnou součástí jejich funkce.

Kvalitativní požadavky na sekundární surovinu z papíru v takovém rozsahu, aby mohla být opětovně využita v papírnách, určuje norma ČSN EN 643. V ní je definováno 5 skupin papíru pro recyklaci: [2], [6]

- **Skupina 1 – Běžné druhy:**

Např. smíšené papíry a lepenky netříděné i tříděné, vlnité a plné lepenky, časopisy, krabice, bedny, tel. seznamy a jejich směsi s novinami aj.

- **Skupina 2 – Středně kvalitní druhy:**

Např. noviny s obsahem barevných stran do 5 %, odřezky, tříděný kancelářský papír potištěný i nepotištěný, knihy, neprodané noviny aj.

- **Skupina 3 – Vysoce kvalitní druhy:**

Např. všechny bílé papíry a lepenky, i barevné (světlé odstíny) odřezky, nepotištěný bílý novinový papír, silně potištěná vícevrstvá lepenka aj.

- **Skupina 4 – Druhy obsahující sulfátový papír:**

Např. vlnité lepenky s krycí sulfátovou vrstvou nepoužité, použité obaly z vlnité lepenky, sulfátové pytle, odnosné tašky aj.

- **Skupina 5 – Speciální druhy:**

Např. smíšené obaly, nápojové papírové obaly (nápojový karton), etikety a papíry pevné za mokra aj.

Kvalitativní požadavky na sekundární surovinu z plastů jsou poměrně neurčitou oblastí, kterou neupravuje žádná oborová norma. Je to dáno hlavně tím, že existuje mnoho druhů plastů a zpracovávat se dají řadou rozličných technologií. Konkrétní požadavky na kvalitu vytříděných frakcí tak vždy určuje finální odběratel. Na území ČR se nejčastěji lze setkat s těmito tříděnými frakcemi a požadavky: [2]

- **PET lahve/obaly:**

- PET lahve od nápojů a ostatní jedno-druhovému PET obaly, nejlépe roztríděné dle barev – čirá, modrá, zelená, hnědá, ostatní (žlutá, oranžová).
- Čistota:
 - Mohou obsahovat pouze zbytky nápojů, víčka, etikety a lepidla.
 - Nesmí obsahovat jiné druhy plastů.
 - Nesmí být znečištěno nebezpečnými ani ostatními odpady.
- Vlhkost – max. 5 %.

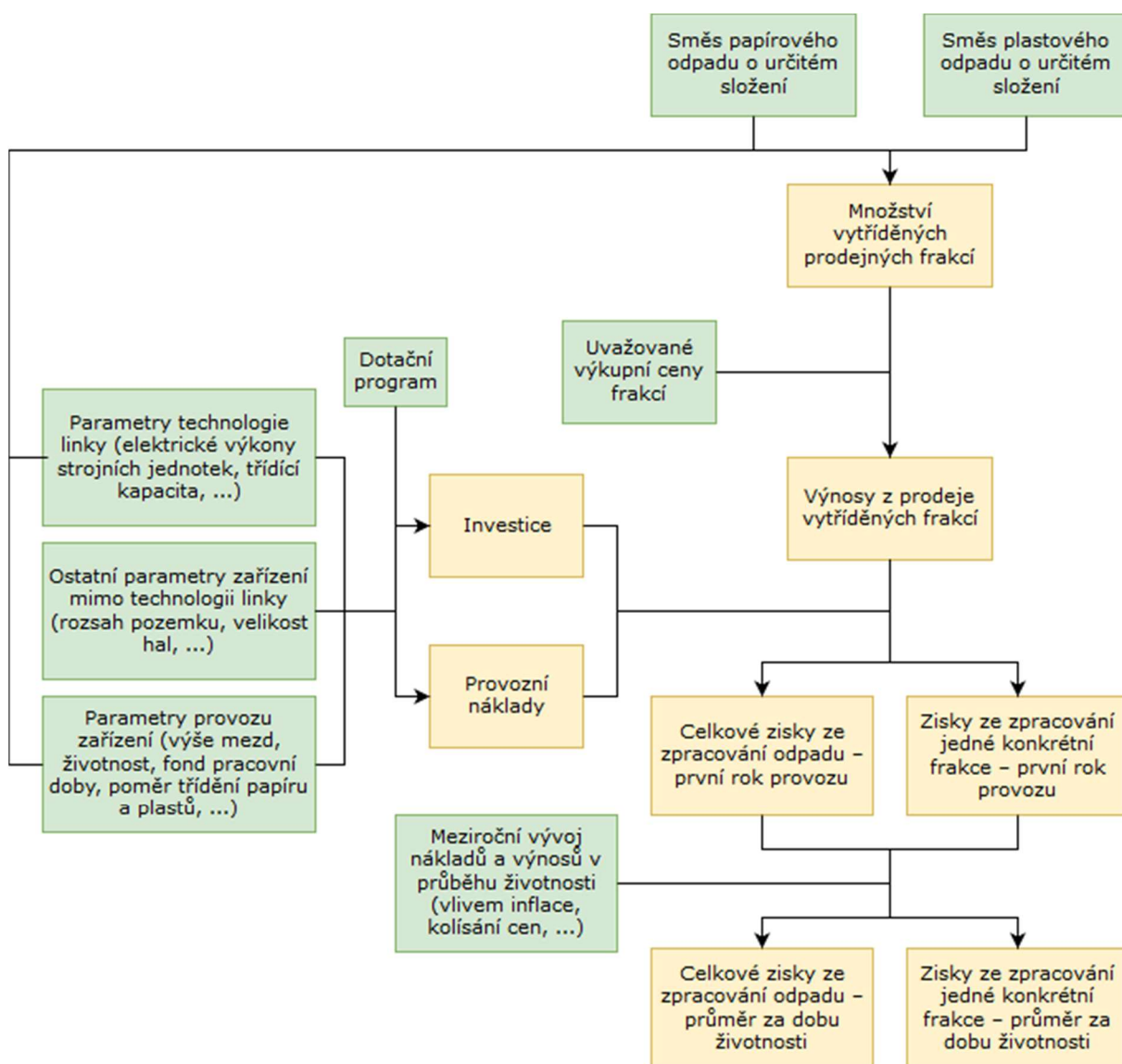
- **Duté plastové obaly:**

- Duté plastové předměty do obsahu 5 l z materiálu HD-PE, případně PP (lahve, kanystry od nápojů, pochutin, drogistických výrobků a přípravků bytové chemie)
- Čistota:
 - Min. 96 % duté plastové předměty dle popisu.

- Max. 2 % ostatní plastové předměty kromě výrobků z PVC, PUR pěny (molitanu) a výrobků z termosetů.
- Nesmí být znečištěno nebezpečnými ani ostatními odpady.
- **Fólie:**
 - Všechny typy fólií (i s potiskem) vyrobených z PE, PP, jejich kopolymerů včetně vícevrstevných fólií (kombinovaných), rozměrů větších než DIN A4. Odnosné tašky, pytle všech velikostí, obaly pro nejrůznější účely. Smršťovací fólie a výrobky z nich.
 - Čistota:
 - Min. 96 % plastové fólie dle popisu, dodávané roztríděné na transparentní a směs barevných fólií.
 - Max. 2 % ostatní plastové předměty kromě výrobků z PVC, PUR pěny (molitanu) a výrobků z termosetů.
 - Nesmí být znečištěno nebezpečnými ani ostatními odpady.
- **Polystyren:**
 - Všechny typy PS rozdělené dle barev a druhů – tříštivý, pěnový aj.
 - Čistota:
 - Nesmí být znečištěno nebezpečnými ani ostatními odpady.
- **Směsný plast:**
 - Části obalů a výrobky z pěnového PS, PE a PP. Duté plastové předměty a nádoby do obsahu 5 l, kelímky, vědra, stolní a kuchyňské náčiní z plastů, plastové části hraček, domácích spotřebičů, přepravek a jiných výrobků. Plastové výrobky nad rozměr 40 cm (přepravky, obaly, palety aj).
 - Čistota:
 - Min. 98 % plastové předměty dle popisu.
 - Max. 10 % obaly z PET.
 - Max. 2 % balastní látky (dřevo, papír, hadry, nápojové kartony, plastové výrobky z PVC, výrobky z termosetů, molitan).
 - Nesmí obsahovat kovové, skleněné, keramické předměty, kameny, beton apod., plastové výrobky s kovovými, kabely všeho druhu, plastové materiály černé barvy.
 - Rozměr výrobků nesmí být větší než 40 cm.

4 Technicko-ekonomický model dotřídovací linky

Jedním z vytyčených cílů této práce bylo vytvoření technicko-ekonomického modelu dotřídovací linky (dále jen „T-E model“), který vyhodnotí ekonomickou efektivitu jejího provozu při různých modelových scénářích. V T-E modelu dochází k vyčíslení investičních a provozních nákladů, na základě kterých je stanovena ekonomická rozvaha dotřídovací linky. Dále je uvažováno, že zpracovaná druhotná surovina je jako produkt této linky uplatněna na trhu s kladnou cenou. Na základě těchto nákladů a výnosů je generován zisk uvažovaného zařízení. Pro pochopení základního principu modelu je na Obr. 4.1 zobrazeno jeho schéma. Zeleně jsou vyznačeny uživatelem ovládané parametry, oranžové bloky představují závislé hodnoty a na konci tohoto schématu se nachází výstupy ve formě hledaných zisků.



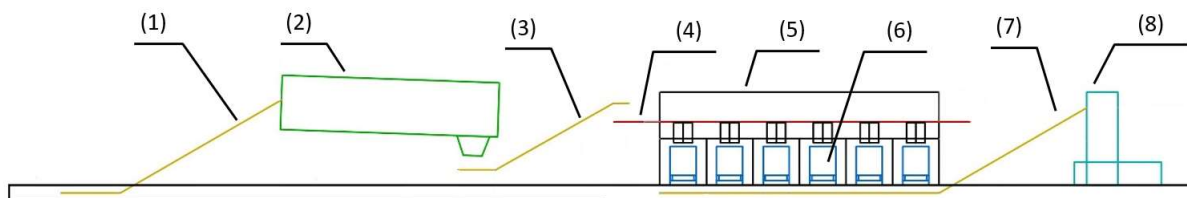
Obr. 4.1: Přibližné schéma funkce vytvořeného T-E modelu

Cílem této kapitoly je popis principů, na jejichž základě model pracuje, a způsobu, jakým generuje závěrečné výstupy. Využití modelu pro kalkulaci vytyčených scénářů je předmětem až kapitol pozdějších – konkrétně kap. 6 a kap. 8.

4.1 Koncepce zařízení a náklady

Uvažováno je zařízení kručnickému dotřídění plastů a papíru bez výrazné míry automatizace. Počítá se s výstavbou zpracovatelské haly (ve které je umístěna samotná technologie linky a zároveň je v ní vyhrazen prostor pro dočasné skladování naváženého odpadu před zpracováním), skladovací haly pro vytríděný materiál slisovaný do balíků a budovy se sociálním zařízením pro pracovníky linky.

Materiál pro zpracování je do areálu navážen nákladními či popelářskými automobily, které jsou při příjezdu zváženy a následně vykládají odpad do prostoru zpracovatelské haly. Zpracování odpadu je realizováno na lince, jejíž zjednodušené schéma je zobrazeno na Obr. 4.2. Ve větším rozlišení je schéma přiloženo k práci ve formě přílohy (Příloha D). Příloha E zobrazuje horní pohled na celkové zázemí zpracovatelské haly s linkou.

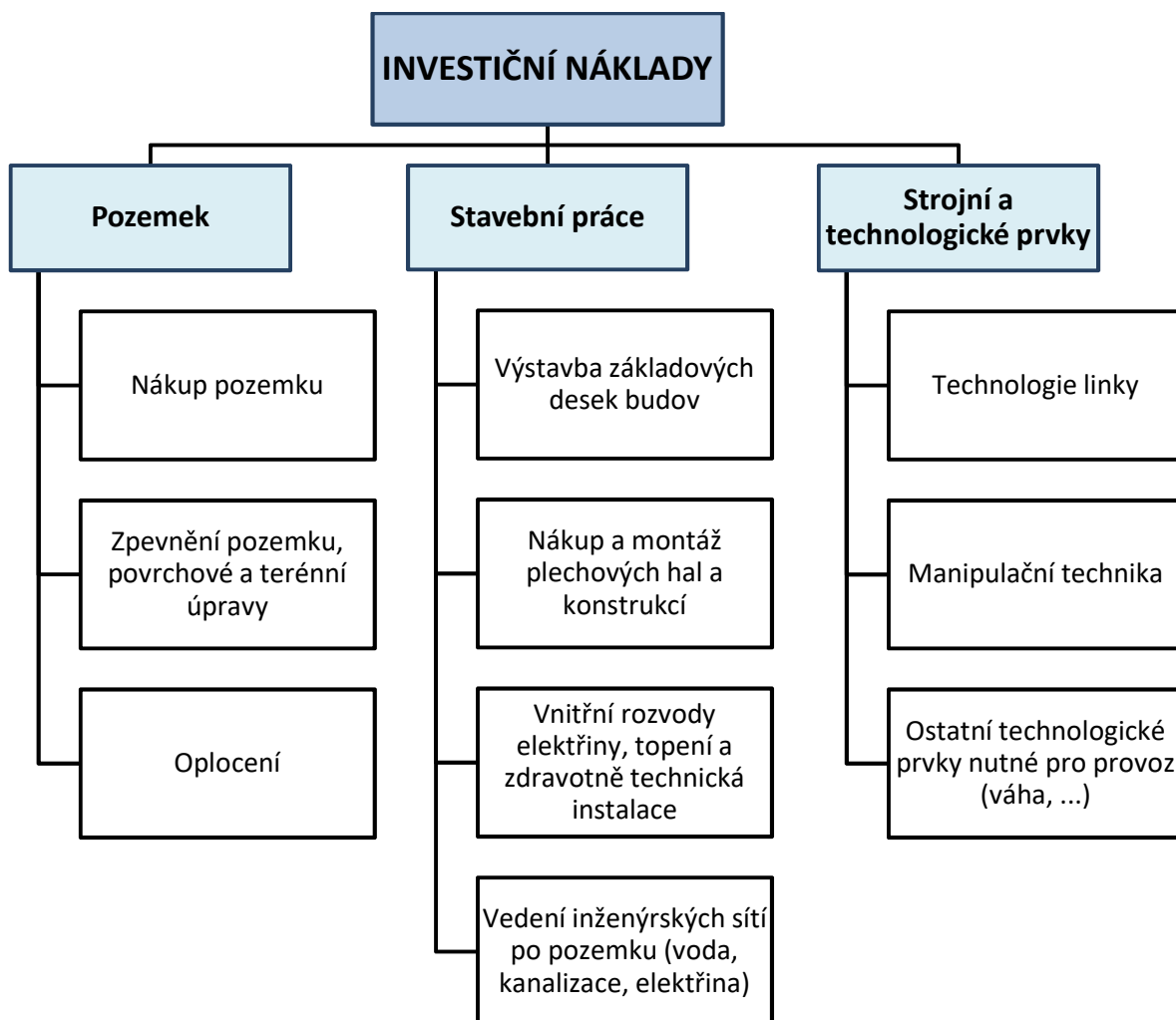


Obr. 4.2: Zjednodušené schéma bočního rozvinutého pohledu na linku

Obsluha dávkuje materiál za pomoci manipulační techniky nebo ručního hrabla na řetězopásový dopravník (1), jehož spodní vodorovná část je zapuštěna pod úroveň podlahy. Materiál je následně unášen na rotační třídič (2), který částečně oddělí odpadní podsítnou frakci (menší než 30 mm) od využitelných složek. Odpad je zachytáván do kontejneru pod třídičem, užitečná frakce pokračuje řetězopásovým dopravníkem (3), který ji vynáší na pásový dopravník (4) umístěný ve vyvýšené buňce pro ruční třídění (5). Na modelové lince lze třídit až šest frakcí, pro každou z nich jsou připraveny v buňce dva shozy. Ty ústí do sběrových kontejnerů s dopravníkovým dnem (6). Na konci pásového dopravníku (4) přepadá zbytkový výmět do přistaveného kontejneru. Po dostatečném nahromadění užitečných frakcí v kontejnerech (6) jsou jednotlivě dávkovány na řetězopásový dopravník (7) ústící do lisu (8). Slisované balíky jsou manipulační technikou převáženy do skladovací haly.

Investiční náklady

Vytvořený model uvažuje s kompletní výstavbou nového zařízení od nákupu pozemku až po zajištění kompletního technologického zázemí nutného pro provoz. Celková investice je tvořena dílčími prvky, které shrnuje Obr. 4.3. Hodnota investice do řady z těchto prvků závisí na předpokládaných rozměrech pozemku, respektive budov. Uvažováno je také s případným snížením investice dotací, která je vypočítávána jako procentuální částka z celkové hodnoty investice.

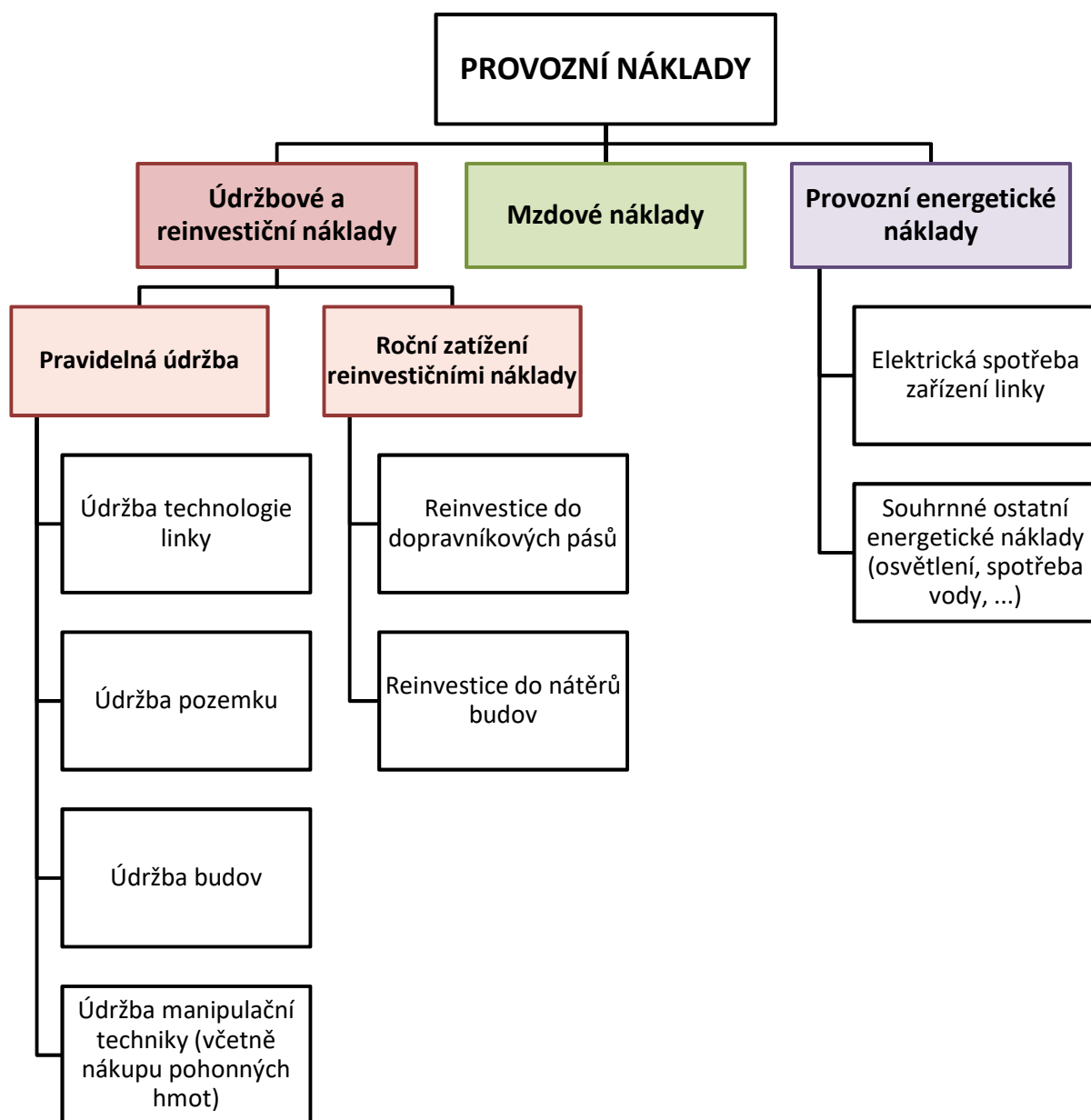


Obr. 4.3: Výčet uvažovaných investičních nákladů

Uvažovaný pozemek, na němž je areál vystaven, je takový, na jehož okraj jsou přivedeny veškeré inženýrské sítě – z tohoto důvodu lze očekávat jednotkovou cenu ve výši 1 000 Kč/m².

Provozní náklady

Během provozu vzniká řada pravidelných nákladů, jejichž výše byla vypočítávána k roku provozu. Obr. 4.4 zachycuje, jaké kategorie provozních nákladů jsou uvažovány.



Obr. 4.4: Výčet uvažovaných provozních nákladů

Provoz je koncipován jako dvousměnný s osmihodinovou pracovní dobou, což při 250 pracovních dnech v roce určuje fond pracovní doby linky na přibližně 4 000 hodin. Počet zaměstnanců na směně záleží na momentálním množství separovaných frakcí – maximálně se na ní může nacházet až 12 operátorů pro třídění (dva pracovníci pro jednu frakci), jeden pracovník zakládající materiál do linky na jejím vstupu, jeden pracovník obsluhující nakladač a jeden vedoucí směny. Důležitý parametr linky, ovlivňující většinu prováděných výpočtů, je celková životnost linky.

4.2 Materiálová bilance

Hodinová zpracovatelská kapacita

Prvním krokem při vytváření materiálové bilance bylo určení teoretické hodinové zpracovatelské kapacity linky. Je stanoven základní předpoklad, že pracovníci u pásu jsou schopni za hodinu roztrždit určitý **objem** materiálu do požadovaných frakcí. Tyto objemové kapacity jsou počítány pro papír i plast samostatně z důvodu odlišných provozních podmínek při jejich třídění – např. rozdílná objemová hmotnost papírového a plastového odpadu, nebo fakt, že papírový odpad je často tříděn na menší počet frakcí. Jak napovídá Obr. 4.5, objemové kapacity jsou určovány jako součin užitečné šířky pásu dopravníku nesoucího materiál, průměrné výšky materiálu na pásu a rychlosti posuvu pásu.

Zpracovatelská kapacita při třídění PAPÍRU	
Užitečná šířka pásu dopravníku	850 mm
Průměrná výška vrstvy na dopravníku	75 mm
Rychlost posuvu dopravníku	0,1 m/s
Koeficient dostatečného zásobení komoditou	100 %
Hodinová objemová kapacita	22,95 m³/hod
Hodinová hmotnostní kapacita	3,50 t/hod

Obr. 4.5: T-E model – hodinová zpracovatelská kapacita papíru

Dalším měnitelným parametrem, který kapacitu ovlivňuje, je koeficient dostatečného zásobení komoditou. Jeho snížením je simulována situace, kdy třídící schopnost pracovníků není naplno využita z důvodu nedostatku vstupního materiálu. Hmotnostní kapacita je dopočítávána jako podíl objemové kapacity a objemové hmotnosti odpadní směsi (jejíž výpočet je popsán níže).

Roční zpracované množství

Veškeré bilanční výpočty (materiálové i finanční) se v modelu vztahují **k roku provozu**. Počítá se, že linka funguje v režimu třídění buď plastů, nebo papíru – poměr těchto dvou režimů je nastavitelný rozdělením celkového fondu pracovní doby, jak lze vidět na Obr. 4.6. Součinem hodinových kapacit a počtu hodin připadajících na zpracování je generována roční zpracovatelská kapacita jednotlivých druhů odpadu.

Komodita	Množství času věnované zpracování [%]	Množství času věnované zpracování [hod/rok]	Roční objemová kapacita linky [m ³ /rok]	Roční hmotnostní kapacita linky [t/rok]
Plast	70	2 800	128 520	6 530
Papír	30	1 200	27 540	4 202

Obr. 4.6: T-E model – rozdělení režimů třídění během roku

Materiálová bilance vstup – výstup

Na základě diskuze s provozovateli dotříd'ovacích linek a doporučení společnosti EKO-KOM byly pro plast i papír vytipovány potenciálně využitelné frakce, jejichž zastoupení ve směsích odpadu je v T-E modelu sledováno. Objemové hmotnosti těchto složek a jejich hmotnostní podíly ve směsích jsou důležité vstupní hodnoty modelu, na základě kterých jsou dle vzorce (4.1)¹ dopočteny objemové hmotnosti směsí.

$$\rho_A = \frac{1}{\sum \frac{w_{i,vstup,A}}{\rho_{i,A} \cdot 100}} \quad (4.1)$$

ρ_A objemová hmotnost směsi odpadu A $\left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right]$

$w_{i,vstup,A}$ hmotnostní podíl i- té složky ve směsi odpadu A na vstupu do linky [hm. %]

$\rho_{i,A}$ objemová hmotnost i- té složky směsi odpadu A $\left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right]$

V Tab. 4.1 lze vidět výčet vytipovaných tříditelných frakcí. Dále jsou zde uvedeny konkrétní uvažované hodnoty objemových hmotností a hmotnostních podílů ve směsích odpadu. Tyto hodnoty jsou považovány za konstantní pro veškeré následující výpočty.

Tab. 4.1: Tříditelné složky plastového a papírového odpadu

Frakce plastu	$\rho_{i,A}$ [kg/m ³]	$w_{i,vstup,A}$ [hm. %]	Frakce papíru	$\rho_{i,B}$ [kg/m ³]	$w_{i,vstup,B}$ [hm. %]
PET čiré	44	11	Časopisy	220	13
PET zelené	44	8	Noviny	200	11
PET modré	44	8	Karton, lepenka	120	30
PET směs	44	10	Směs papírů	200	15
Duté obaly	80	20	Tetra pack	110	6
Fólie	20	3	Výmět	200	25
Směs plastů	55	10			
Tetra pack	110	0			
Výmět	55	30			

Zbytek po vytřídění těchto frakcí – výmět – obsahuje nečistoty z jiných materiálů, zájmové frakce příliš znečištěné pro využití, zájmové frakce neseparované vlivem snížené účinnosti třídění (viz rovnice (4.5) a s ní související komentář) nebo i potenciálně tříditelné frakce, které ale reálně separovány nejsou (např. vlivem neprodejnosti).

Určení hodnot jednotlivých objemových hmotností je poměrně problematické, protože jsou, hlavně v případě plastů, závislé na kompaktnosti materiálu („sešlapanost“ PET lahví). Modelovaná situace uvažuje, že svoz odpadu probíhá vozidlem s nástavbou s lisem.

¹ Koeficient „A“ u řady veličin znamená, že se daná veličina vztahuje ke směsi odpadu A – tedy plastu. Tyto vzorce pak platí po dosazení veličin odkazujících na směs papírového odpadu (směs B) i pro ni.

Aby bylo třídění vůbec proveditelné, musí být na vstupu do linky takto slisovaný materiál znovu nakypřen, jednotlivé kusy odpadu jako lahve či krabice již však mají svůj objem trvale zmenšen – jejich objemová hmotnost je v této fázi tedy vyšší než při samotném sběru.

Část modelu pokrývající (materiálové) bilanční výpočty papírového odpadu ukazuje Obr. 4.7. Hodnoty na vstupu byly pro jednotlivé frakce určeny dle rovnic (4.2), (4.3), (4.4).

Účinnost třídění prodejních frakcí vlivem nerovnoměrného rozložení materiálu na pásu [%]		Objemová hmotnost [kg/m ³]									
Plast	Papír	Plast	Papír								
98	98	50,8	152,6								

PAPÍR	MATERIÁLOVÁ BILANCE										
	VSTUP DO LINKY = PŘED DOTŘÍDĚNÍM					Koeficient rozhodnutí o třídění [-]	VÝSTUP Z LINKY = PO DOTŘÍDĚNÍ				
Frakce	Objemová hmotnost [kg/m ³]	Hmotnostní podíl [hm. %]	Hmotnost [t/rok]	Objemový podíl [obj. %]	Objem [m ³ /rok]		Objemová hmotnost [kg/m ³]	Hmotnostní podíl [hm. %]	Hmotnost [t/rok]	Objemový podíl [obj. %]	Objem [m ³ /rok]
Časopisy	220	13	546	9,0	2 483	1	220	12,7	535	8,8	2 433
Noviny	200	11	462	8,4	2 311	1	200	10,8	453	8,2	2 265
Karton/lepenka	120	30	1 260	38,1	10 504	1	120	29,4	1 235	37,4	10 294
Směs papírů	200	15	630	11,4	3 151	1	110	14,7	618	11,2	3 088
Tetra pack - v papíru	110	6	252	8,3	2 292	0	200	0,0	0	0,0	0
Nevhodné / Výmět	200	25	1 050	19,1	5 252	---	143,8	32,4	1 360	34,3	9 460
SOUČET	---	100	4 202	94	25 993	---	---	100	4 202	100	27 540

Obr. 4.7: T-E model – materiálová bilance papírového odpadu

$$m_{i,vstup,A} = \frac{w_{i,vstup,A}}{100} \cdot m_A \quad (4.2)$$

$m_{i,vstup,A}$ hmotnost i- té složky ve směsi odpadu A na vstupu do linky $\left[\frac{t}{rok}\right]$

m_A roční hmotnostní kapacita linky pro směs odpadu A $\left[\frac{t}{rok}\right]$

$$x_{i,vstup,A} = w_{i,vstup,A} \cdot \frac{\rho_A}{\rho_{i,A}} \quad (4.3)$$

$x_{i,vstup,A}$ objemový podíl i- té složky ve směsi odpadu A na vstupu do linky [obj. %]

$$V_{i,vstup,A} = \frac{x_{i,vstup,A}}{100} \cdot V_A \quad (4.4)$$

$V_{i,vstup,A}$ objem i- té složky ve směsi odpadu A na vstupu do linky $\left[\frac{m^3}{rok}\right]$

V_A roční objemová kapacita linky pro směs odpadu A $\left[\frac{m^3}{rok}\right]$

Množství využitelných frakcí na výstupu snižují dva koeficienty, viz rovnice (4.5). První z nich – účinnost třídění – vyjadřuje ztráty vzniklé nerovnoměrným rozložením tříděného materiálu na třídícím pásu. Základním konceptem popisovaného modelu je, že lidská obsluha má schopnost roztřídit určitý objemový tok materiálu, který je určen mimo jiné průměrnou výškou vrstvy materiálu na pásu. Pokud okamžitá výška vrstvy v čase příliš kolísá, dochází střídavě k nevyužívání třídící schopnosti obsluhy nebo v druhém případě k jejímu přehlcení a část materiálu tak prochází linkou netříděna.

Druhý koeficient má za úkol pouze vyjádřit, zdali je daná složka vůbec ze vstupní směsi separována, či ne – nabývá tedy hodnot 0 nebo 1. Lze s jeho pomocí simulovat rozhodnutí provozovatele netřídit potenciálně prodejnou složku, pokud je její výkupní cena příliš nízká na to, aby převážila dodatečné náklady spojené s její separací.

$$m_{i,výstup,A} = m_{i,vstup,A} \cdot \eta_{tříd,A} \cdot k_{i,rozh,A} \quad (4.5)$$

$m_{i,výstup,A}$ hmotnost vyseparované i- té složky z původní směsi odpadu A $\left[\frac{t}{rok} \right]$

$\eta_{tříd,A}$ účinnost třídění směsi odpadu A spojená s rozložením materiálu na páse [–]

$k_{i,rozh,A}$ koeficient rozhodnutí o třídění složky i ze směsi odpadu A [–]

To množství využitelných frakcí, které vlivem těchto koeficientů není separováno, se stává součástí výmětu. Hodnoty na výstupu týkající se výmětu jsou proto v souladu se zákonem zachování hmotnosti dopočtem do známých celkových hodnot. Objemová hmotnost výmětu s takto pozměněným složením je pak dopočítávána jako podíl jeho hmotnosti a objemu.

4.3 Finanční bilance

Díky vyřešené materiálové bilanci bylo možné vytvořit také bilanci finanční – tedy určit zisky plynoucí ze zpracování jednotlivých dotříděných frakcí, ať už kladné nebo záporné, vznikající jako rozdíl potenciálních výnosů z jejich prodeje a poměrných nákladů na jejich separaci. Obr. 4.8 ilustruje postup zmíněných výpočtů, jelikož na něm lze vidět výňatek té části modelu, ve které byly prováděny.

PAPÍR							
FINANČNÍ BILANCE							
Frakce	Jednotková výkupní cena [Kč/t]	Výnosy z prodeje [Kč/rok]	Poměrné roční zatížení investicí [Kč/rok]	Poměrné údržbové a reinv. náklady [Kč/rok]	Poměrné mzdové náklady [Kč/rok]	Poměrné provozní energetické náklady [Kč/rok]	Zisk ze zpracování [Kč/rok]
Časopisy	2 650	1 418 524	364 200	47 682	607 200	81 255	318 187
Noviny	2 650	1 200 289	364 200	47 682	607 200	81 055	100 153
Karton/lepenka	1 730	2 137 051	364 200	47 682	607 200	90 610	1 027 359
Směs papírů	1 010	623 821	364 200	47 682	607 200	82 035	-477 295
Tetra pack - v papíru	1 730	427 410	364 200	47 682	607 200	81 033	-672 704
Nevhodné / Výmět	---	---	---	---	---	---	---
SOUČET	---	5 807 095	1 821 000	238 408	3 036 000	415 988	295 699

Obr. 4.8: T-E model – část finanční bilance pro papírový odpad

Výnosy

T-E model uvažuje možnost, že jednotková výkupní cena zájmových frakcí nemusí být v průběhu roku konstantní. Pro každý měsíc lze nastavit samostatnou hodnotu, do bilance pak vstupuje roční průměr těchto měsíčních cen. Výnos z prodeje frakce je násobkem jednotkové ceny a jejího množství na výstupu z linky.

Poměrné náklady

Náklady připadající na zpracování jednotlivých frakcí byly, stejně jako při určování jejich celkové výše, rozděleny podle jejich povahy na čtyři kategorie:

- roční zatížení investičními náklady,
- údržbové a reinvestiční náklady,
- mzdové náklady,
- provozní energetické náklady.

Jejich výpočet proběhl dle rovnic (4.6), (4.7), (4.8) a (4.9). Vzorec (4.9) zohledňuje, že při lisování jednotlivých vytríděných frakcí odpadů, které disponují různými objemovými hmotnostmi, odpracuje lis a na něm závislá zařízení (dopravník do lisu, dopravníky v kontejnerech) odlišné množství hodin, protože lisovací zařízení pracuje s určitým maximálním objemovým výkonem.

$$RN_{inv,i,A} = \frac{\tau_{zprac,A}}{100} \cdot \frac{INV - DOT}{t_{živ}} \cdot \frac{1}{n_{sep,A}} \quad (4.6)$$

$RN_{inv,i,A}$ roční zatížení původní investicí připadající na zpracování i- té složky směsi
odpadu A $\left[\frac{\text{Kč}}{\text{rok}} \right]$

$\tau_{zprac,A}$ podíl fondu pracovní doby věnovaný zpracování odpadu A [%]

INV hodnota počáteční investice [Kč]

DOT hodnota dotace na počáteční investici [Kč]

$t_{živ}$ předpokládaná doba životnosti zařízení [rok]

$n_{sep,A}$ počet prodejných frakcí separovaných ze směsi odpadu A [–]

$$RN_{údrž,i,A} = \frac{\tau_{zprac,A}}{100} \cdot RN_{údrž} \cdot \frac{1}{n_{sep,A}} \quad (4.7)$$

$RN_{údrž,i,A}$ roční údržbové a reinvestiční náklady připadající na zpracování i- té složky
směsi odpadu A $\left[\frac{\text{Kč}}{\text{rok}} \right]$

$RN_{údrž}$ celkové roční údržbové a reinvestiční náklady $\left[\frac{\text{Kč}}{\text{rok}} \right]$

$$RN_{mzdy,i,A} = \left[SHM_{ved} \cdot N_{ved,A} + SHM_{řad} \cdot (N_{vst,A} + N_{nakl,A} + 2 \cdot n_{sep,A}) \right] \cdot \frac{\tau_{zprac,A}}{100} \cdot t_{fond} \cdot \frac{1}{n_{sep,A}} \quad (4.8)$$

$RN_{mzdy,i,A}$.. roční mzdové náklady připadající na zpracování i- té složky směsi odpadu A $\left[\frac{\text{Kč}}{\text{rok}} \right]$

SHM_{ved} superhrubá mzda vedoucího pracovníka $\left[\frac{\text{Kč}}{\text{hod}} \right]$

$N_{ved,A}$ počet vedoucích pracovníků na směně při zpracovávání odpadu A [–]

$SHM_{\text{řad}}$ superhrubá mzda řadového zaměstnance $\left[\frac{\text{Kč}}{\text{hod}} \right]$

$N_{\text{vst},A}$ počet zaměstnanců na vstupu do linky na směně při zpracovávání odpadu A $[-]$

$N_{\text{nakl},A}$ počet řidičů nakladače na směně při zpracovávání odpadu A $[-]$

t_{fond} roční fond pracovní doby $\left[\frac{\text{hod}}{\text{rok}} \right]$

$$RN_{\text{ener},i,A} = \frac{\tau_{\text{zprac},A}}{100} \cdot (OST + P_1 \cdot t_{\text{fond}} \cdot c_{\text{el}}) \cdot \frac{1}{n_{\text{sep},A}} + P_2 \cdot \frac{V_{i,\text{výstup},A}}{V_{\text{lis}}} \cdot c_{\text{el}} \quad (4.9)$$

$RN_{\text{ener},i,A}$ roční energetické náklady na zpracování i- té složky směsi odpadu A $\left[\frac{\text{Kč}}{\text{rok}} \right]$

OST souhrnné jiné energetické náklady mimo elektrickou spotřebu hlavních zařízení linky (tedy spotřeba vody, osvětlení, ...) $\left[\frac{\text{Kč}}{\text{rok}} \right]$

P_1 celkový výkon zařízení pracujících během provozu nepřetržitě [kW]

c_{el} jednotková cena elektrické energie $\left[\frac{\text{Kč}}{\text{kWh}} \right]$

P_2 celkový výkon zařízení pracujících pouze při lisování materiálu [kW]

$V_{i,\text{výstup},A}$ objem vyseparované i- té složky z původní směsi odpadu A $\left[\frac{\text{m}^3}{\text{rok}} \right]$

V_{lis} hodinová zpracovatelská kapacita lisu $\left[\frac{\text{m}^3}{\text{hod}} \right]$

4.4 Vývoj nákladů a výnosů během životnosti

Hodnota ročních nákladů i výnosů určená výše zmíněnými postupy není v průběhu životnosti konstantní, ale mění se vlivem inflace, kolísající výkupní ceny frakcí nebo vlivem růstu (příp. snižování) mezd. Výjimku tvoří roční zatížení investičními náklady, které reálně nevznikají každoročně, ale slouží k vyjádření vlivu počáteční investice při výpočtu zisku v daném roce – jejich výši tedy inflace neovlivňuje.

Nezávisle na sobě lze nastavit míry meziroční změny pro následující položky:

- údržbové a reinvestiční náklady,
- mzdové náklady,
- provozní energetické náklady,
- výnosy z prodeje plastových frakcí a
- výnosy z prodeje papírových frakcí.

Hodnotu v k-tém roce kterékoliv z těchto veličin, ať už celkových nebo připadajících na zpracování jedné tříditelné frakce, lze určit dle vzorce (4.10).

$$Z_k = Z_1 \cdot \left(1 + \frac{r}{100} \right)^{k-1} \quad (4.10)$$

Z_k řešený náklad nebo výnos v k – tém roce životnosti linky $\left[\frac{\text{Kč}}{\text{rok}} \right]$

Z_1 řešený náklad nebo výnos v prvním roce životnosti linky $\left[\frac{\text{Kč}}{\text{rok}} \right]$

r příslušná míra meziroční změny [%]

k číslo roku, pro který je výše nákladu nebo výnosu počítána [–]

Cash flow

Celkové náklady a celkové výnosy v jednotlivých letech provozu jsou v T–E modelu následně využity k určení peněžních toků (neboli „cash flow“) uvažovaným zařízením. Obr. 4.9 zachycuje část modelu, ve které jsou tyto výpočty provedeny.

CASH FLOW					
Rok	0	1	2	3	4
Cash Flow za daný rok	-48 702 800	12 894 833	13 065 572	13 236 677	13 408 061
Kumulovaný Cash Flow	-48 702 800	-35 807 967	-22 742 395	-9 505 718	3 902 342

Obr. 4.9: T–E model – Cash flow

„Cash flow za daný rok“ představuje součet celkových příjmů a výdajů vzniklých v daném roce, „Kumulovaný cash flow“ v řešeném roce je součet všech dosavadních příjmů i výdajů v letech předcházejících. Rok 0 reprezentuje počáteční investici (případně rozdíl počáteční investice a získané dotace), rok 1 představuje první, referenční rok provozu zařízení.

Tato část modelu vytváří dvě důležitá výstupní data – celkový zisk na konci životnosti (kumulovaný cash flow v posledním roce životnosti) a dobu návratnosti počáteční investice (rok, ve kterém má kumulovaný cash flow poprvé kladnou hodnotu).

4.5 Hlavní výstupy modelu

Finální sledované výstupy, do kterých se promítají změny vstupních proměnných popisujících provozní podmínky, jsou tyto:

- roční zpracované množství odpadu,
 - roční množství vyseparovaných uplatnitelných složek,
- průměrné celkové roční náklady,
 - průměrné roční **provozní** náklady (tj. bez vlivu zatížení investičními náklady)
- průměrné roční výnosy,
- průměrný roční zisk,
- průměrné roční náklady/výnosy/zisk vztažené na tunu zpracovaného odpadu,
- doba návratnosti investice,
- celkový zisk na konci životnosti,
- průměrné roční zisky plynoucí ze zpracování jednotlivých frakcí.

5 Průzkum trhu druhotných surovin

Jedním z nejvýznamnějších nastavitelných parametrů T-E modelu je jednotková výkupní cena tříděných frakcí, a proto byl v rámci této práce proveden průzkum trhu s danými komoditami. Cenným zdrojem se ukázal být britský webový portál „*Let's recycle*“, který pro každý měsíc uveřejňuje informace o výkupních cenách řady druhotných surovin na zdejším trhu, a to formou intervalů s maximální a minimální hodnotou ceny pro daný měsíc. Tab. 5.1 shrnuje pro rok 2016 průměry středních i obou krajních měsíčních hodnot cenových intervalů vybraných frakcí (tedy takových, které jsou sledovány na daném portále a zároveň ve vytvořeném T-E modelu).²

Tab. 5.1: Výkupní ceny vybraných surovin na britském trhu, průměr za r. 2016

Komodita	Průměrná maximální cena [Kč/t]	Průměrná minimální cena [Kč/t]	Průměrná střední cena [Kč/t]
PLAST:			
PET čiré	4 053	2 573	3 313
PET směs	1 693	1 373	1 533
Duté obaly z HDPE	4 573	4 013	4 293
Fólie směs (80 % čirých fólií)	1 827	1 187	1 507
PAPÍR:			
Noviny a časopisy	2 760	2 539	2 649
Karton a lepenka	2 869	2 443	2 656
Směs papírů	2 187	1 853	2 020

Kromě dat získaných tímto průzkumem byla vedoucím práce poskytnuta další sada dat shrnutá v Tab. 5.2, která vznikla průzkumem výkupu druhotných surovin v projektu WtECC³.

² Ceny na portále „*Let's recycle*“ jsou uváděny v britských librách. Pro přepočítání na českou korunu byl použit přibližný převodní kurz 1 GBP = 32 Kč.

³ Waste-to-Energy (WTE) Competence Centre, dílčí cíl DC07.1

Tab. 5.2: Výkupní ceny druhotných surovin na místním trhu – průzkum ÚPI

Komodita	Maximální cena včetně DPH [Kč/t]	Minimální cena včetně DPH [Kč/t]	Medián včetně DPH [Kč/t]
PLAST:			
PET	3 500	400	2 000
Fólie čirá LDPE	5 000	0	2 000
Fólie barevná LDPE	1 000	0	300
Plasty směs	2 000	1 000	1 500
PAPÍR:			
Noviny	3 000	1 000	2 000
Časopisy	3 000	1 000	2 000
Karton	1 700	400	1 000
Směsný papír	1 200	0	500
Reklamní letáky	2 800	1 000	1 500

6 Aplikace T-E modelu na scénáře provozu

Pro aplikaci vytvořeného T-E modelu byly sestaveny tři scénáře provozu uvažované dotříd'ovací linky, které se mezi sebou liší množstvím času, které je věnováno zpracování jednotlivých druhů odpadu. První ze scénářů představuje dotříd'ovací linku pouze na **papírový odpad** (tedy 100 % pracovního fondu je věnováno zpracování papíru), druhý linku pouze na **plastový odpad** a scénář č. 3 simuluje **kombinovaný provoz**, kdy je fond pracovní doby rozdělen v poměru 70:30 ve prospěch zpracování plastů. Tento poměr je volen proto, že současná efektivita třídění u zdroje je pro plastový odpad nižší než pro papírový – viz Tab. 2.2. Do budoucna lze očekávat, že množství separovaného plastového odpadu poroste vlivem zvětšující se míry separace významněji než v případě papírového odpadu. Z tohoto důvodu by linka měla být zaměřena na zpracování plastového odpadu větší měrou. Ostatní nastavitelné parametry provozu jsou skrz zmíněné scénáře stejné, nejdůležitější z nich shrnuje Tab. 6.1.

Tab. 6.1: Společné hodnoty ovládaných veličin pro všechny scénáře

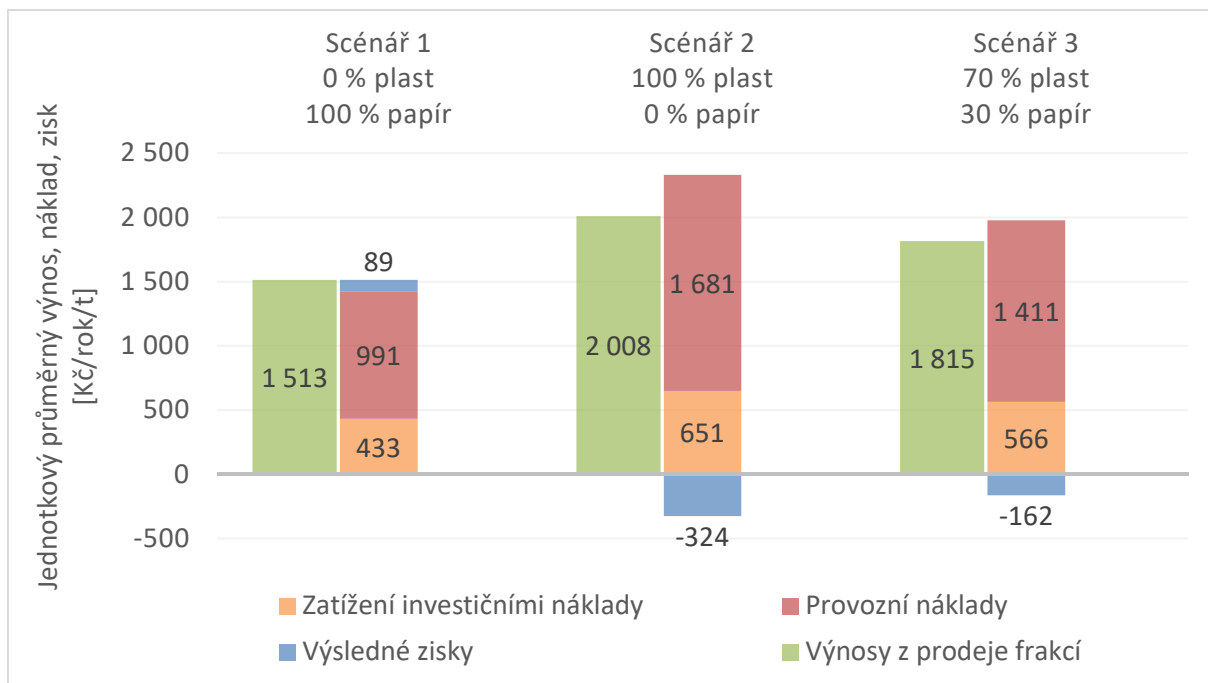
Investiční parametry				
Počáteční investice [Kč]	60 700 000			
Hodnota dotace na investici:				
procento z investice [-]	0 %			
konkrétní částka dotace [Kč]	0			
Životnost linky [rok]	10			
Bilanční parametry				
Fond pracovní doby [hod/rok]	4 000			
	Plast		Papír	
Hodinová objemová kapacita [m³/hod]	45,90		22,95	
Hodinová hmotnostní kapacita [t/hod]	2,33		3,50	
Účinnost třídění [-]	98 %		98 %	
Složky, které jsou v provozu skutečně separovány ze směsí a jejich jednotkové výkupní ceny	Složka	Cena [Kč/t]	Složka	Cena [Kč/t]
	PET čiré	3 310	Časopisy	2 650
	PET zelené	2 820	Noviny	2 650
	PET modré	2 820	Karton/lepenka	1 730
	PET směs	1 530	Směs papírů	1 010
	Duté obaly	4 290	Tetra pack	1 730
	Fólie	1 510		
Parametry meziročních změn nákladů a výnosů				
Míry meziroční změny:				
údržbové a reinvestiční náklady [-]	1 %			
mzdové náklady [-]	3 %			
energetické náklady [-]	1 %			
výnosy z prodeje složek plastu [-]	2 %			
výnosy z prodeje složek papíru [-]	2 %			

6.1 Výstupy scénářů

Srovnání sledovaných výstupů měnících se mezi scénáři ukazuje Tab. 6.2. Průměrné jednotkové náklady, výnosy a zisky navíc porovnává grafickou formou i Obr. 6.1.

Tab. 6.2: Proměnlivé výstupy T-E modelu při třech různých scénářích

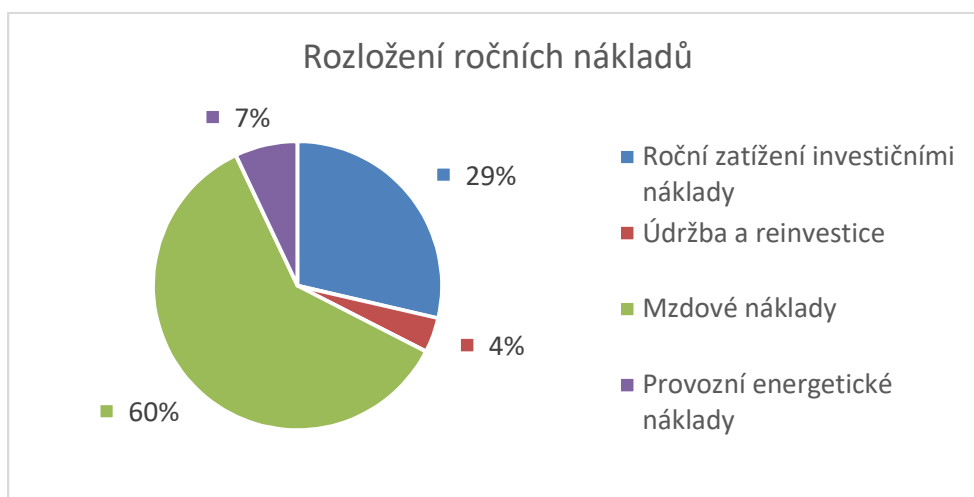
Výstupní veličina	Scénář 1 0 % plast 100 % papír	Scénář 2 100 % plast 0 % papír	Scénář 3 70 % plast 30 % papír
Materiálové výstupy:			
Zpracované množství odpadu [t/rok]	14 006	9 328	10 732
z toho:			
zpracovaný plastový odpad [t/rok]	0	9 328	6 530
z toho:			
vyseparované uplatnitelné frakce [t/rok]	0	5 485	3 840
zbytkový výmět [t/rok]	0	3 843	2 690
zpracovaný papírový odpad [t/rok]	14 006	0	4 202
z toho:			
vyseparované uplatnitelné frakce [t/rok]	10 294	0	3 088
zbytkový výmět [t/rok]	3 712	0	1 114
Finanční výstupy:			
Doba návratnosti investice [rok]	9	nikdy	nikdy
Zisk na konci životnosti [Kč]	12 417 689	-30 181 553	-17 401 780
Průměrné náklady [Kč/rok]	19 953 588	21 752 980	21 213 162
z toho			
zatížení investičními náklady [Kč/rok]	6 070 000	6 070 000	6 070 000
průměrné provozní náklady [Kč/rok]	13 883 588	15 682 980	15 143 162
Průměrné výnosy [Kč/rok]	21 195 357	18 734 824	19 472 984
Průměrný zisk [Kč/rok]	1 241 769	-3 018 155	-1 740 178
Jednotkové průměrné náklady [Kč/rok/t]	1 425	2 332	1 977
z toho			
jednotkové zatížení investičními náklady [Kč/rok/t]	433	651	566
jednotkové průměrné provozní náklady [Kč/rok/t]	991	1 681	1 411
Jednotkové průměrné výnosy [Kč/rok/t]	1 513	2 008	1 815
Jednotkový průměrný zisk [Kč/rok/t]	89	-324	-162



Obr. 6.1: Srovnání jednotkových průměrných ekonomických výstupů scénářů

Z uvedených výstupů je patrné, že při uvažování nulové dotační podpory je zpracování plastů činností ztrátovou a to natolik, že je ztrátový i kombinovaný provoz uvažovaný ve scénáři č. 3. Důvodem této ztrátovosti jsou v první řadě nižší výnosy z prodeje plastových frakcí. Ty jsou zaviněny malými hodnotami objemové hmotnosti plastových frakcí (pohybujícími se v rozmezí 20–80 kg/m³), které v důsledku zapříčiní poměrně nízkou hmotnostní kapacitu linky při jejich zpracování.

Druhým důvodem jsou vyšší náklady na separaci plastových frakcí. Tento nárůst je způsoben dodatečnými mzdovými náklady vyplývajícími z vyššího množství zaměstnanců na směně (z plastu je separováno 6 užitečných frakcí, z papíru pouze 5). Mzdové náklady představují významný podíl celkových nákladů – zhruba 60 % pro kterýkoliv z řešených scénářů. Zastoupení mzdových i ostatních nákladů na celkové hodnotě lze pro scénář č. 3 vidět na Obr. 6.2



Obr. 6.2: Graf rozložení průměrných ročních nákladů pro scénář č. 3

Výstupy společné pro všechny scénáře

Kromě výstupů shrnutých v Tab. 6.2 jsou v modelu sledovány ještě další výstupy a sice **jednotkové** průměrné zisky plynoucí ze zpracování jednotlivých frakcí, které lze nalézt v Tab. 6.3. Jejich hodnoty nejsou ovlivňovány poměrem zpracování plastu a papíru, jsou proto stejné pro všechny řešené scénáře.⁴

Tab. 6.3: Průměrné roční zisky ze zpracování jednotlivých složek odpadů

Frakce plastu	Jednotkový zisk [Kč/rok/kg]	Frakce papíru	Jednotkový zisk [Kč/rok/kg]
PET čiré	0,01	Časopisy	0,67
PET zelené	- 1,87	Noviny	0,26
PET modré	- 1,87	Karton, lepenka	0,92
PET směs	- 2,29	Směs papírů	- 0,83
Duté obaly	2,71	Tetra pack	- 2,94
Fólie	- 11,54		

Z této tabulky vyplývá, že řada frakcí je při uvažovaných vstupních parametrech (např. složení směsi odpadu, hodinové zpracovatelské kapacity, výkupní ceny aj.) ztrátová. Zdaleka nejvýrazněji toto tvrzení platí pro plastové fólie – hmotnostní zastoupení této složky ve směsi plastového odpadu totiž není příliš výrazné (viz Tab. 4.1) a jednotková výkupní cena není dostatečně vysoká na to, aby se výnosy z prodeje alespoň přiblížily poměrným nákladům na její zpracování.

⁴ Hodnota celkového průměrného ročního zisku ze zpracování dané frakce – tedy součin jednotkového zisku a množství vyseparované frakce během roku provozu – ovšem na poměru zpracování plastu a papíru závislá je.

Potenciální úprava ztrátových scénářů

Životaschopnost uvažovaných scénářů č. 2 a č. 3, které se ukázaly při daných parametrech jako ztrátové, lze zvýšit změnou právě těchto parametrů. Jako nejvhodnější se jeví upravit procento uvažované dotační podpory, které bylo do této fáze nulové. Reálně jsou ovšem podobné projekty podporovány vcelku běžně – v pravidlech pro žadatele a příjemce podpory v „Operačním programu Životní prostředí pro období 2014–2020“ se lze dozvědět, že na projekt výstavby dotříd'ovací linky KO lze získat až 85% dotaci.

Minimální nutná výše dotace

Scénáře č. 2 a č. 3 přestávají být ztrátové v posledním roce životnosti linky při následujících mírách dotace:

- Scénář č. 250 %,
- Scénář č. 329 %.

Minimální nutná výše dotace při změně tříděných frakcí

Druhou možností, jak snížit ztrátovost provozu linky, je neseparovat složky odpadu, jejichž zpracování je nejméně výhodné – tedy plastové fólie, směs PET lahví a nápojové kartony (tetra pack).⁵ Při neseparování těchto frakcí převáží úspory na nákladech potenciální zisky z jejich prodeje. Tyto úspory sice ještě nejsou natolik významné, aby scénáře č. 2 a č. 3 byly realizovatelné i bez dotace, sníží ovšem její minimální nutnou výši na následující hodnoty:

- Scénář č. 224 %,
- Scénář č. 310 %.

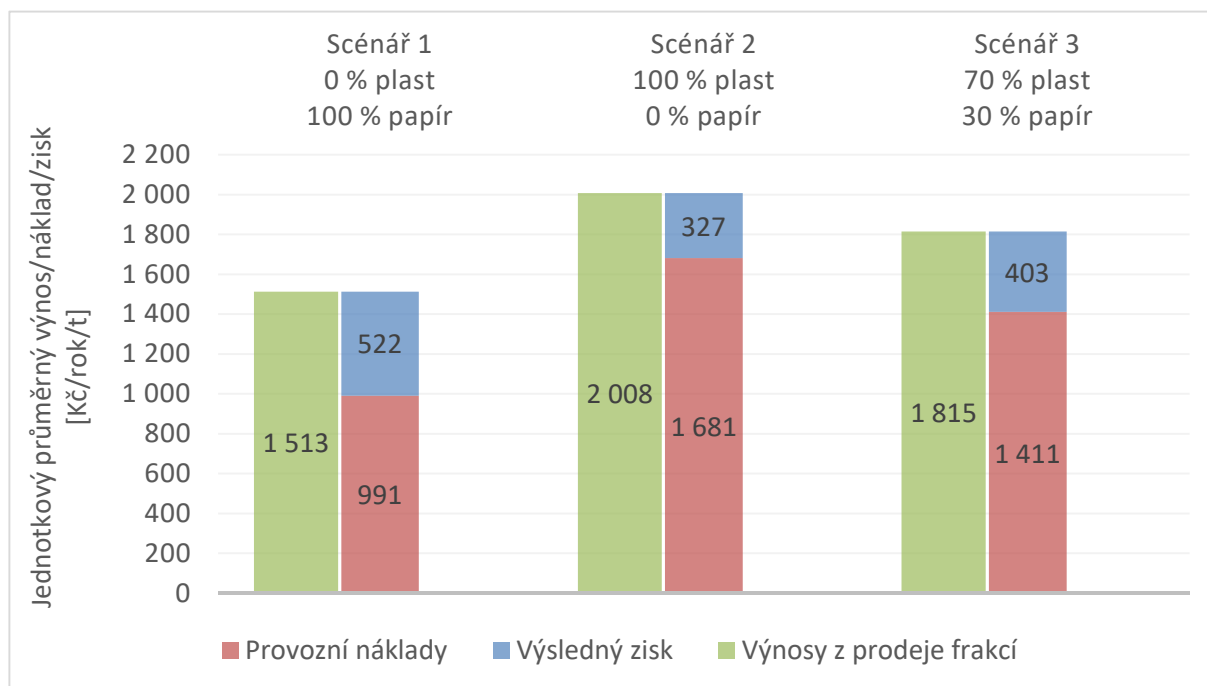
⁵ Když nejsou tyto frakce separovány, stávají se na výstupu z linky součástí výmětu. Výmět s takovýmto zvýšeným obsahem potenciálně tříditelných složek pak může být přeprodáván na další zpracování a generovat tak další zisk – s touto možností modelové scénáře ovšem nepočítají.

6.2 Výstupy scénářů bez vlivu počáteční investice

Při zanedbání ročního zatížení investičními náklady se do finančního zhodnocení vybraných scénářů promítají pouze náklady provozní (viz Obr. 4.4). Tato úprava vstupních proměnných vhodně simuluje situaci, kdy je zavedení dotříd'ovací linky financováno z externích zdrojů a provozovatele tak zajímají pouze náklady vznikající periodicky během provozu linky. Zhodnocení dané situace shrnuje Tab. 6.4 a grafickou formou ho ilustruje Obr. 6.3.

Tab. 6.4: Finanční zhodnocení vybraných scénářů bez vlivu investice

Výstupní veličina	Scénář 1 0 % plast 100 % papír	Scénář 2 100 % plast 0 % papír	Scénář 3 70 % plast 30 % papír
Průměrné provozní náklady [Kč/rok]	13 883 588	15 682 980	15 143 162
Průměrné výnosy [Kč/rok]	21 195 357	18 734 824	19 472 984
Průměrný zisk [Kč/rok]	7 311 769	3 051 845	4 329 822
Jednotkové průměrné provozní náklady [Kč/rok/t]	991	1 681	1 411
Jednotkové průměrné výnosy [Kč/rok/t]	1 513	2 008	1 815
Jednotkový průměrný zisk [Kč/rok/t]	522	327	403



Obr. 6.3: Jednotkové průměrné ekonomické výstupy scénářů bez vlivu investice

7 Citlivostní analýzy vybraných proměnných T–E modelu

Obecným cílem citlivostní analýzy je zhodnotit, jak velký význam má změna vstupních proměnných na výstupy výpočtu. „Výpočtem“ je v rámci této práce myšlen samotný T–E model. Provedena byla řada citlivostních analýz, z nichž každá byla zaměřena na vybrané sady vstupních proměnných modelu, a to na:

- jednotkové výkupní ceny prodejných frakcí,
- superhrubé mzdy zaměstnanců,
- míry meziroční změny nákladů a výnosů.

Ty vstupní proměnné, které byly během dané analýzy konstantní, byly nastaveny na shodnou hodnotu jako při vyhodnocování scénáře provozu linky č. 3 (tedy scénář, kdy je linka během 70 % fondu pracovní doby zaměřena na zpracování plastového odpadu a během zbylých 30 % na zpracování papírového odpadu) – viz Tab. 6.1 a Tab. 4.1. Jedinou výjimku tvoří hodnota dotace na investici, která byla pro scénáře provozu nastavena jako nulová, ale citlivostní analýzy jsou prováděny při uvažování 60% dotace (vzhledem k maximální možné výši 85 % se jedná o mírně konzervativní odhad).

V rámci každé citlivostní analýzy byla provedena tři odlišná nastavení řešené vstupní proměnné – nastavení A, B a C. Nastavení A představuje změnu dané proměnné tak, aby se průměrný roční zisk linky snížil, nastavení B reprezentuje její ponechání na referenční hodnotě uvažované v simulaci scénáře č. 3 (z toho vyplývá, že výstupní hodnoty nastavení B budou skrz všechny prováděné analýzy shodné) a nastavení C povede ke zvýšení zisku.

Citlivostní analýza jednotkových výkupních cen prodejných frakcí

Výkupní cena každé frakce získané na dotříd'ovací lince je závislá na její kvalitě, která je ovlivňována například znečištěním organickými látkami, vlhkostí a dalšími faktory. Kap. 5 zmiňovala hlavní zdroj využitý k odhadu výkupních cen uvažovaných pro simulace vybraných scénářů (webový portál „*Let's recycle*“), který pro daný měsíc a danou druhotnou surovinu udával její výkupní cenu v určitém intervalu. Lze předpokládat, že maximum tohoto intervalu představuje cenu za surovinu nejvyšší kvality, minimum pak cenu za surovinu nejnižší kvality. Rozsahy těchto intervalů pro sledované frakce byly využity pro nastavení hodnot proměnných v této citlivostní analýze. Na jakou konkrétní částku byly výkupní ceny nastaveny lze vidět v Tab. 7.1, stejně jako příslušné dopady těchto změn na sledované výstupní hodnoty modelu.

Tab. 7.1: Nastavení proměnných a výstupy citlivostní analýzy výkupních cen

Měněné vstupní proměnné	Nastavení A	Nastavení B	Nastavení C
Jednotková výkupní cena [Kč/t]			
separovaných složek plastového odpadu:			
PET čiré	2 570	3 310	4 050
PET zelené	2 190	2 820	3 450
PET modré	2 190	2 820	3 450
PET směs	1 370	1 530	1 690
Duté obaly	4 010	4 290	4 570
Fólie	1 190	1 510	1 830
separovaných složek papírového odpadu:			
Časopisy	2 540	2 650	2 760
Noviny	2 540	2 650	2 760
Karton/lepenka	1 590	1 730	1 870
Směs papírů	930	1 010	1 090
Tetra pack	1 590	1 730	1 870
Sledované výstupy			
Doba návratnosti investice [rok]	nikdy	6	4
Zisk na konci životnosti [Kč]	-3 470 071	19 018 220	41 506 511
Průměrné náklady [Kč/rok]	17 571 162	17 571 162	17 571 162
Průměrné výnosy [Kč/rok]	17 224 155	19 472 984	21 721 813
Průměrný zisk [Kč/rok]	-347 007	1 901 822	4 150 651
Jednotkový průměrný zisk [Kč/rok/t]	-32	177	387

Lze si povšimnout, že rozdíly mezi nastavenými hodnotami výkupních cen plastových frakcí jsou markantnější než rozdíly mezi cenami frakcí papírového odpadu. Tato nastavení respektují zdrojová data a lze se tedy na základě nich domnívat, že větší proměnlivost výkupních cen plastových frakcí (tedy širší intervaly cen pro daný měsíc udávané zdrojem) je zapříčiněna větší nestabilitou tohoto trhu oproti trhu s odpadním papírem.

Citlivostní analýza hodinových superhrubých mezd

Druhá citlivostní analýza zkoumá vliv počáteční výše superhrubých mezd uvažovaných v prvním roce provozu linky (v následujících letech provozu se jejich výše nadále mění vlivem míry meziroční změny mzdových nákladů, ale tato proměnná je pro tuto analýzu konstantní). Změny provedené v těchto proměnných byly ve výši 10 % a vyvolaly změnu průměrných jednotkových zisků ve výši 67 %. Hodnoty ostatních výstupů shrnuje Tab. 7.2.

Tab. 7.2: Nastavení proměnných a výstupy citlivostní analýzy hodinových mezd

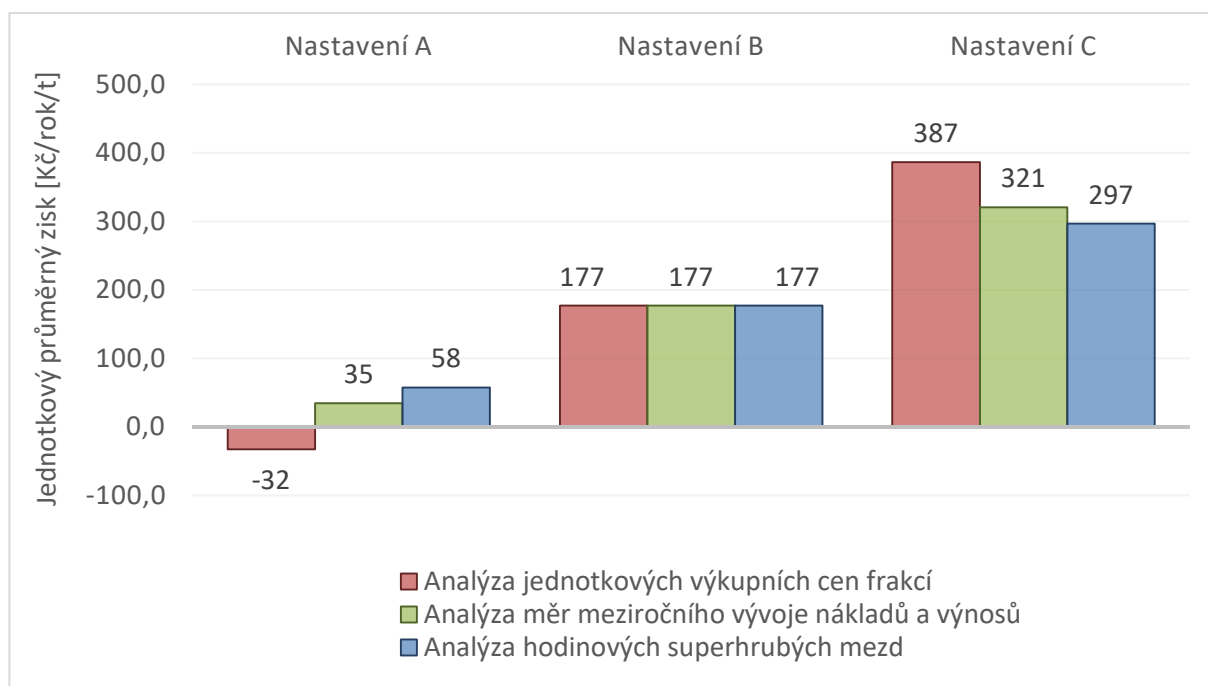
Měněné vstupní proměnné	Nastavení A	Nastavení B	Nastavení C
Hodinová superhrubá mzda [Kč/hod]			
vedoucího směny	275	250	225
řadového zaměstnance	209	190	171
Sledované výstupy			
Doba návratnosti investice [rok]	8	6	5
Zisk na konci životnost [Kč]	6 197 017	19 018 220	31 839 422
Průměrné náklady [Kč/rok]	18 853 282	17 571 162	16 289 042
Průměrné výnosy [Kč/rok]	19 472 984	19 472 984	19 472 984
Průměrný zisk [Kč/rok]	619 702	1 901 822	3 183 942
Jednotkový průměrný zisk [Kč/rok/t]	58	177	297

Citlivostní analýza měr meziročního vývoje nákladů a výnosů

Poslední analýza má za úkol vyčíslit změny sledovaných výstupů při různých uvažovaných mírách meziročních změn všech předpokládaných nákladů a výnosů. Uvažovaná nastavení i reakce výstupů shrnuje Tab. 7.3. Srovnání průměrných jednotkových zisků jako výsledků všech tří analýz pro každé nastavení ukazuje Obr. 7.1

Tab. 7.3: Nastavení proměnných a výstupy citl. analýzy měr meziročního vývoje

Měněné vstupní proměnné	Nastavení A	Nastavení B	Nastavení C
Míra meziročního vývoje [%]			
nákladů:			
údržbové a reinvestiční náklady	1,5	1	0,5
mzdové náklady	4	3	2
provozní energetické náklady	1,5	1	0,5
výnosů:			
z prodeje plastových frakcí	1	2	3
z prodeje papírových frakcí	1	2	3
Sledované výstupy			
Doba návratnosti investice [rok]	8	6	5
Zisk na konci životnost [Kč]	3 750 313	19 018 220	34 432 105
Průměrné náklady [Kč/rok]	18 230 968	17 571 162	16 944 153
Průměrné výnosy [Kč/rok]	18 605 999	19 472 984	20 387 363
Průměrný zisk [Kč/rok]	375 031	1 901 822	3 443 211
Jednotkový průměrný zisk [Kč/rok/t]	35	177	321



Obr. 7.1: Jednotkové průměrné zisky jako výsledky jednotlivých analýz

Z grafu vyplývá, že největší změny ve výstupech nastávají při uvažovaných změnách jednotkových výkupních cen. Míry meziročního vývoje nákladů a výnosů ovlivňují výstupy sice méně, je ovšem důležité si uvědomit, že význam těchto proměnných poroste, pokud se bude zvyšovat uvažovaná životnost linky.

8 Zohlednění transportní úlohy do T–E modelu

Dosavadní provedené analýzy uvažovaly pouze investiční a provozní náklady nezbytné pro samotný proces dotřídění odpadu přivezeného na dotřídovací linku (viz Obr. 4.3 a Obr. 4.4). V reálných provozech ovšem musí být uvažováno také s náklady za dopravu zpracovávaného materiálu na linku i s náklady za odvoz vytríděných frakcí a nevytríděných zbytků k dalšímu zpracování. Vyčíslení a zahrnutí těchto nákladů do finančního rozboru vybraného scénáře je úkolem této kapitoly.⁶

Transportní úloha byla řešena pro **scénář provozu linky č. 3** – tedy takový, kdy je na lince dotřídován plastový i papírový odpad. Parametry popisující provoz linky během tohoto scénáře uvádějí data v Tab. 6.1 a materiálové výstupy v Tab. 6.2. Pro účely této části práce byl podobně jako v kap. 6.2 zanedbán vliv počáteční investice a uvažuje se s jejím kompletním pokrytím externími zdroji. Nově uvažované náklady na dopravu v sobě zahrnují:

- počáteční investici do nových svozových automobilů,
- náklady na provoz automobilů (pohonné hmoty, silniční poplatky aj.) a
- mzdové náklady pro řidiče a obsluhu.

Provedeny byly dvě varianty řešení svozové úlohy pro daný scénář. **Varianta A** uvažuje, že svoz papírového a plastového odpadu na linku je prováděn dvěma samostatnými vozy a ten samý předpoklad platí i pro odvoz vytríděných frakcí a zbytkových výmětů z linky na další zpracování. **Varianta B** naopak pracuje s předpokladem, že svoz na linku, respektive odvoz z ní, je prováděn jedním automobilem, který veze plastový i papírový materiál zároveň (vozy jsou ovšem uzpůsobeny k tomu, aby nedocházelo k jejich mísení). Obě varianty výpočtu mají shodné některé parametry ovlivňující výši vypočtených nákladů – tyto shrnuje Tab. 8.1.

Tab. 8.1: Parametry transportní úlohy shodné pro obě varianty řešení

Návoz odpadu na linku	
Použitá svozová technika	popelářský vůz o objemu 20 m ³ s nástavbou s lisem
Posádka svozového vozidla	1 řidič 2 členové obsluhy vozu
Délka návozu [km]	15
Průměrná rychlost vozu [km/h]	60
Odvoz vytríděných frakcí a výmětů z linky	
Použitá svozová technika	nákladní automobil o objemu 40 m ³
Posádka svozového vozidla	1 řidič
Délka návozu [km]	20
Průměrná rychlost vozu [km/h]	60

Následující Tab. 8.2 a Tab. 8.3 uvádějí ty parametry výpočtů, které závisejí na charakteru přepravovaného materiálu a nemusí se proto mezi uvažovanými variantami

⁶ Vyčíslení nákladů za dopravu bylo provedeno v programu Waste Transportation Prices (WTP).

shodovat. Předně jsou zde ale prezentovány hlavní výstupy dopravní úlohy ve formě ročních nákladů za návoz i odvoz materiálu (jedná se o průměrné hodnoty za dobu životnosti při uvažované míře meziročního vývoje). Náklady za svoz na linku byly kalkulovány v určitém intervalu pokrývajícím větší a menší množství zpracovaného odpadu, než je přesná hodnota vystupující jako výsledek scénáře č. 3. Do vyhodnocení na konci kapitoly vstupuje průměr těchto krajních hodnot. Pro odvoz frakcí z linky byla vypočtena jedna řádová hodnota.

Tab. 8.2: Výstupní hodnoty varianty řešení dopravní úlohy A

Varianta A – oddělená doprava plastu a papíru		
Míra meziročního vývoje nákladů na dopravu [-]	2 %	
Návoz odpadu na linku		
	Plastový odpad	Papírový odpad
Objemová hmotnost při návozu [kg/m³]	350	450
Počet aut nutných pro uvažované množství [-]	1	1
Očekávané náklady na návoz [Kč/rok]		
minimální	1 970 950	1 839 553
maximální	2 452 738	1 916 201
průměr	2 211 844	1 877 877
Odvoz vytříděných frakcí a výmětů z linky		
	Plastové frakce	Papírové frakce
Objemová hmotnost při odvozu [kg/m³]	250	250
Počet aut nutných pro uvažované množství [-]	1	1
Očekávané náklady na odvoz [Kč/rok]	1 708 156	1 281 117

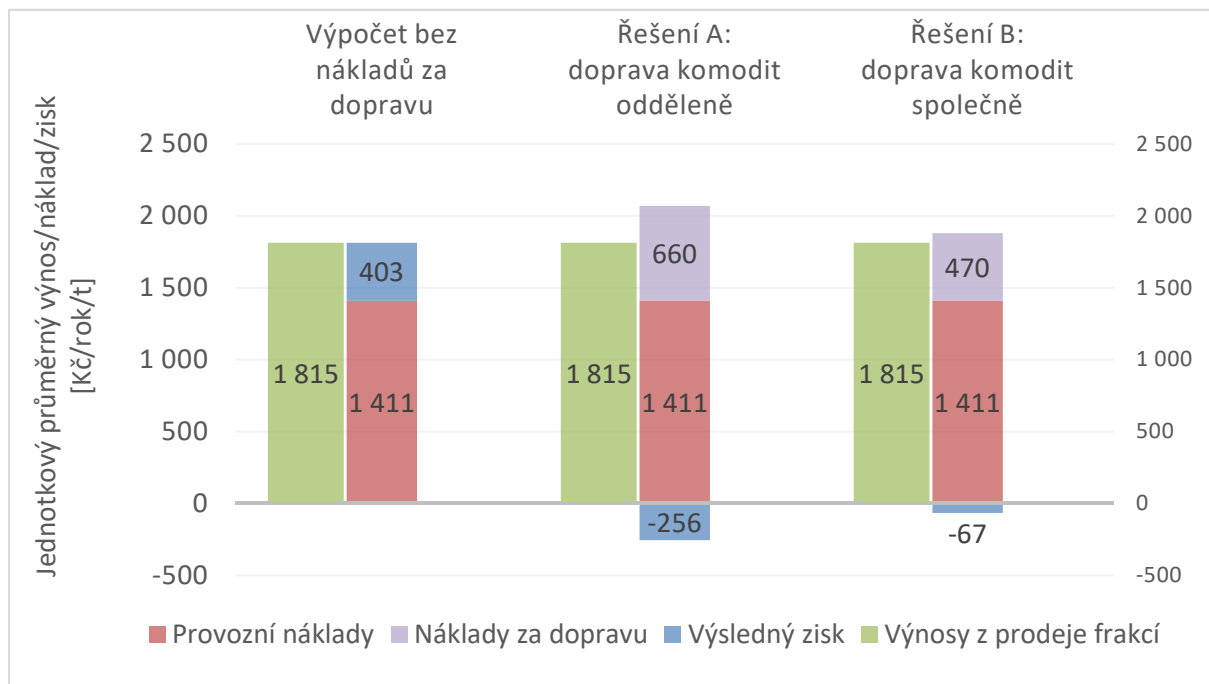
Tab. 8.3: Výstupní hodnoty varianty řešení dopravní úlohy B

Varianta B – současná doprava plastu i papíru	
Míra meziročního vývoje nákladů na dopravu [-]	2 %
Návoz odpadu na linku	
	Plastový a papírový odpad
Objemová hmotnost při návozu [kg/m ³]	400
Počet aut nutných pro uvažované množství [-]	1
Očekávané náklady na návoz [Kč/rok]	
minimální	2 337 765
maximální	3 153 520
průměr	2 745 643
Odvoz vytříděných frakcí a výmětů z linky	
	Plastové a papírové frakce
Objemová hmotnost při odvozu [kg/m ³]	250
Počet aut nutných pro uvažované množství [-]	1
Očekávané náklady na odvoz [Kč/rok]	2 299 441

Součty celkových průměrných nákladů na dopravu pro obě varianty řešení udává Tab. 8.4, stejně tak jsou zde shrnuty ostatní náklady, výnosy a zisky vznikající při uvažovaném scénáři provozu linky. Grafické srovnání původně uvažované finanční bilance bez vlivu nákladů na dopravu s variantami řešení dopravní úlohy A i B ukazuje Obr. 8.1.

Tab. 8.4: Srovnání nákladů, výnosů a zisků při uvažování vlivu dopravy

Náklady, výnosy a zisky	Výpočet bez dopravy	Varianta řešení A	Varianta řešení B
Průměrné náklady [Kč/rok]	15 143 162	22 222 157	20 188 246
z toho			
zatížení investičními náklady [Kč/rok]	0	0	0
průměrné provozní náklady [Kč/rok]	15 143 162	15 143 162	15 143 162
průměrné náklady na dopravu [Kč/rok]	0	7 078 995	5 045 084
Průměrné výnosy [Kč/rok]	19 472 984	19 472 984	19 472 984
Průměrný zisk [Kč/rok]	4 329 822	-2 749 173	-715 262
Jednotkové průměrné náklady [Kč/rok/t]	1 411	2 071	1 881
z toho			
jednotkové zatížení investičními náklady [Kč/rok/t]	0	0	0
jednotkové průměrné provozní náklady [Kč/rok/t]	1 411	1 411	1 411
jednotkové průměrné náklady na dopravu [Kč/rok/t]	0	660	470
Jednotkové průměrné výnosy [Kč/rok/t]	1 815	1 815	1 815
Jednotkový průměrný zisk [Kč/rok/t]	403	-256	-67



Obr. 8.1: Jednotkové průměrné ekonomické výstupy dopravní úlohy

Z uvedených výsledků vyplývá, že i při předpokladu nulového zatížení provozovatele linky investičními náklady je toto zařízení po zohlednění nákladů na dopravu ztrátové, a to i v případě, že svoz i odvoz je realizován finančně úspornější variantou B, kdy jsou papírový i plastový materiál dopravovány společně jedním vozem. Ve skutečnosti ovšem výše daných nákladů může být znatelně nižší. Jak bylo zmíněno na začátku kapitoly, úloha uvažuje nákup nových automobilů pro realizaci svozu a tato investice se promítá do hodnoty předpokládaných nákladů. Je pravděpodobné, že v reálném provozu by dotační programy tuto investici z pohledu provozovatele eliminovaly, což by vedlo ke snížení průměrných ročních nákladů na dopravu. Hlavně varianta řešení B dané úlohy by se tedy v takovémto případě mohla stát ziskovou.

9 Dopad zvýšené materiálové separace na výhřevnost SKO

Cílem materiálové separace využitelných složek KO je odklonit tyto složky z proudu SKO, čímž dojde ke zmenšení produkovaného množství tohoto typu odpadu, ale zároveň se změní i jeho skladba a vlastnosti. Preferovaný způsob nakládání se zbytkovým SKO je dle hierarchie nakládání s odpady (viz Obr. 1.1) zužitkování jeho energetického potenciálu v ZEVO. Jak již bylo zmíněno v kap. 1.1, toto zařízení sice slouží primárně k odstranění odpadu jeho spalováním, zároveň ale využívá teplo vzniklé při tomto procesu pro výrobu tepelné a elektrické energie. Důležitou vlastností SKO z pohledu ZEVO je tedy jeho **výhřevnost**, která popisuje, jak velké množství energie se uvolní spálením jedné hmotnostní jednotky daného paliva za vzniku spalin obsahujících vodu ve formě páry. Účelem této kapitoly je zhodnotit vliv míry separace vybraných využitelných složek odpadu na výhřevnost SKO. [40]

SKO je nehomogenní směs řady materiálových složek, jako např. plastů, papíru, biologicky rozložitelného odpadu aj. Pro určení jeho výhřevnosti je tedy nutné znát jak dílčí výhřevnosti těchto složek, tak jejich zastoupení ve směsi. Tyto parametry jsou závislé na místě vzniku SKO (jeho složení se v zástavbě bytových domů a rodinných domů vzájemně velmi liší). Pro účely této části práce je jako referenční místo vzniku SKO uvažováno město Brno. Tato volba byla podnícena dvěma faktory, kterými jsou:

- místní nízká míra separace plastového odpadu a
- obsah plastového odpadu v SKO přibližně odpovídající kapacitě modelované dotříd'ovací linky při uvažovaném scénáři provozu č. 3.

Data o produkci uvažovaných využitelných složek a mírách jejich separace shrnuje Tab. 9.1, informace o složení SKO a výhřevnosti jeho složek udává Tab. 9.2. Všechna data platí pro r. 2016.⁷

Tab. 9.1: Produkce vybraných využitelných složek KO (Brno, r. 2016)

	Plast	Papír	Sklo
Separovaně sebrané složky KO [t]	1 731	13 705	3 560
Obsah složky v SKO [t]	8 362	5 743	4 639
Celkové množství v KO [t]	10 093	19 448	8 199
Míra separace [-]	17,2 %	70,5 %	43,4 %

⁷ Veškerá data, se kterými je v této kapitole pracováno, poskytl pro účely práce ÚPI. Data o produkci odpadů a složení SKO byla získána použitím výpočetního nástroje Justýna vytvořeného na půdě ústavu. Data o výhřevnosti složek SKO byla získána řadou analýz, jejichž výsledky ÚPI disponuje.

Tab. 9.2: Složení SKO a výhřevnosti jeho složek (Brno, r. 2016)

Složka SKO	Hmotnostní podíl [hm. %]	Výhřevnost [kJ/kg]
Plast	12,43	34 146
Papír	8,54	11 340
Sklo	6,90	0
Biologicky rozložitelný odpad	28,79	2 221
Elektroodpad	0,42	20 000
Kovy	2,58	0
Minerální odpad	2,55	0
Nebezpečný odpad	0,66	17 000
Spalitelný odpad	13,73	10 849
Textil	6,86	16 980
Frakce menší než 40 mm	16,54	4 399
SKO celkově	100	9 431

Skleněný odpad není cílovou frakcí pro modelovanou dotřídovací linku, proto je jeho míra separace uvažována pro následující analýzy jako konstantní. Co se papírového odpadu týče, data uvedená v Tab. 9.1 naznačují, že současná míra separace tohoto typu odpadu je již na dostatečně vysoké úrovni. Výhřevnost této složky je navíc blízká průměrné výhřevnosti SKO a její zastoupení ve směsi není natolik významné, aby rostoucí míra separace zmíněné frakce ovlivňovala výhřevnost směsi významnou měrou. Z uvedených důvodů je tedy změna výhřevnosti SKO zkoumána pouze v závislosti na rostoucí míře separace **plastového odpadu**.

Tab. 9.2 udává kromě výhřevnosti jednotlivých složek SKO také výhřevnost této směsi, která je určena dle rovnice (9.1).

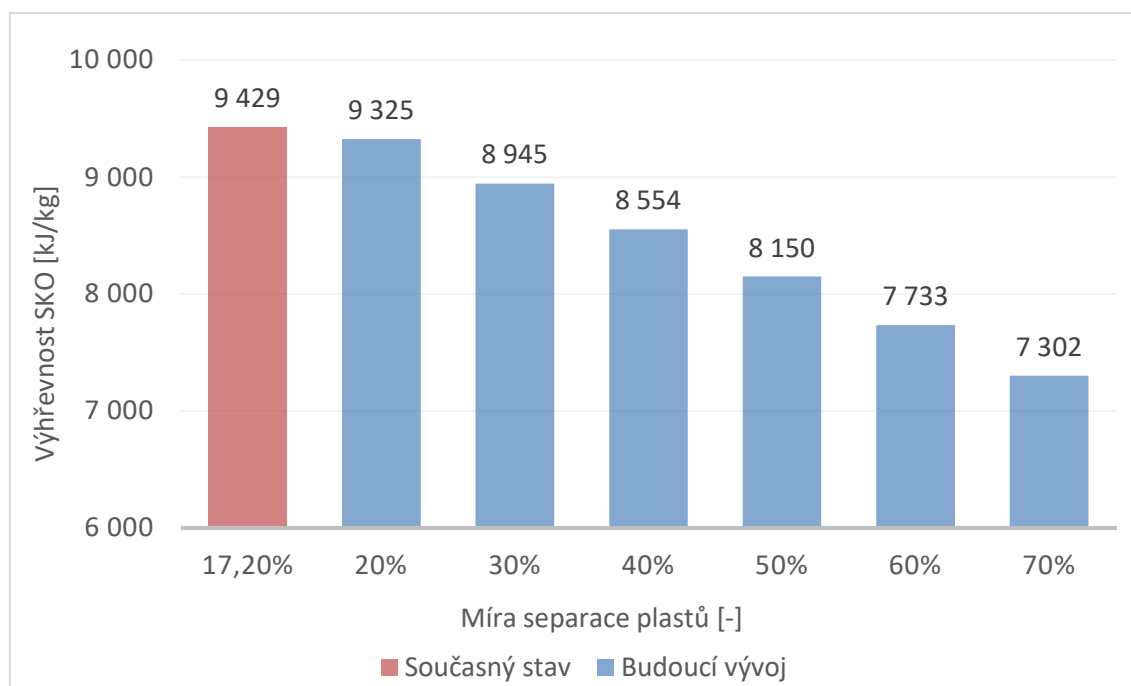
$$LHV_{SKO} = \sum LHV_i \cdot \frac{w_{i,SKO}}{100} \quad (9.1)$$

LHV_{SKO} výhřevnost směsného komunálního odpadu $\left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$

LHV_i výhřevnost i- té složky směsného komunálního odpadu $\left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$

$w_{i,SKO}$ hmotnostní podíl i- té složky ve směsném komunálním odpadu [hm. %]

Pokud stoupne míra separace plastového odpadu, klesne jeho hmotnostní podíl v SKO, zatímco hmotnostní podíly ostatních složek tím mírně vzrostou. Vzhledem k tomu, že plasty mají ze všech složek SKO největší výhřevnost, bude výhřevnost směsi s rostoucí materiálovou separací této složky výrazně klesat – zmíněný trend zachycuje graf na Obr. 9.1.



Obr. 9.1: Graf závislosti výhřevnosti SKO na míře separace plastového odpadu

Jak bylo zmíněno v kap. 1.2, do r. 2020 by měla míra separace vybraných využitelných složek, tedy i plastu, dosahovat hodnoty alespoň 50 %. Z grafu vyplývá, že při této hodnotě dosahuje zbytkový SKO výhřevnosti o více než 1 MJ/kg nižší než v současné době. Tento pokles bude mít negativní dopad na provoz ZEVO, které bude muset pro zachování konstantních hodnot vyrobené elektrické a tepelné energie zvýšit množství spalovaného odpadu, čímž mj. porostou náklady na jeho dopravu.

10 Závěr

Úvodní část předkládané práce na téma „*Efektivní návrh a provoz třídící linky jako prvek komplexního odpadového řetězce*“ byla věnována seznámení s aktuální situací OH na území ČR s důrazem na produkci a nakládání s materiálově využitelnými složkami KO. Jako **zájmové složky** byly pro celý rozsah práce definovány **plast** a **papír** (okrajově i nápojové kartony), pro které lze zvolit podobné technologie sběru a následného dotřídění. Ve své teoretické části se práce věnuje navíc i skleněnému odpadu. Následoval základní popis technologií sběru využitelných složek, se kterými se lze na lokální úrovni setkat nejčastěji. Obecně lze konstatovat, že sběr odpadu je kritická část procesu nakládání s využitelnými složkami odpadu a značnou mírou ovlivňuje její dotříditelnost a kvalitu potenciální druhotné suroviny. Tato kvalita druhotné suroviny je hodnocena její cenou na trhu.

Hlavním obsahem teoretické části byl popis třídících a dotříd'ovacích linek jakožto zařízení pro povýšení využitelných složek odpadu na druhotné suroviny, pro které existuje reálné využití a jsou tak navraceny zpět do výrobního koloběhu (tzv. princip cirkulární ekonomiky). Byl definován základní rozdíl mezi třídící a dotříd'ovací linkou a popsány principy jejich fungování. Následně byla věnována pozornost jednotlivým technologickým prvkům, které se na těchto linkách zpravidla nacházejí – např. pásovým a řetězopásovým dopravníky, lisovacímu zařízení nebo řadě typů třídičů a sít. Závěrem teoretické části byl popis současného výskytu linek na území ČR a seznam kvalitativních požadavků na druhotné suroviny z plastového a papírového odpadu.

Praktická část práce zahrnovala tvorbu T-E modelu manuálně obsluhované dotříd'ovací linky plastového a papírového KO a jeho následnou aplikaci na vybrané uvažované úlohy – kapitola 4 byla věnována popisu tohoto modelu. V modelu je uvažováno s investičními náklady (od nákupu pozemku a jeho úprav, přes stavbu budov až po nákup technologických prvků potřebných pro proces dotříd'ování), mzdovými náklady, provozními energetickými náklady, náklady na pravidelnou údržbu vybraných prvků a náklady na periodicky vznikající reinvestice. Zmíněné náklady jsou v modelu porovnávány s výnosy z prodeje vytříděných frakcí a jsou generovány vybrané výstupy, z nichž hlavní je **průměrný roční zisk linky** (další výstupy představují např. průměrné zisky ze zpracování jednotlivých frakcí, doba návratnosti investice aj.). Veškeré výstupy jsou závislé na uvažovaných provozních podmínkách linky, které jsou v modelu reprezentovány řadou vstupních proměnných (jako např. životnost linky, poměr třídění plastů a papíru, zpracovatelská kapacita, jednotkové výkupní ceny tříděných frakcí aj.).

První aplikační úlohou byla simulace třech vybraných scénářů provozu uvažované linky a následné vyhodnocení výstupů modelu. Tyto scénáře se mezi sebou lišily poměry zpracování papírového a plastového odpadu, kdy scénář č. 1 představoval linku pouze na papírový odpad, scénář č. 2 linku pouze na plastový odpad a scénář č. 3 linku zaměřenou ze 70 % na třídění plastů a ze 30 % na třídění papíru. Ostatní provozní parametry linky byly uvažovány pro všechny scénáře shodně. Výstupy ukázaly, že třídění papírového odpadu je z finančního hlediska výhodnější záležitostí než třídění plastů. Důvodem jsou nižší výnosy z prodeje plastových frakcí a vyšší mzdové náklady nutné pro jejich separaci (z plastu je separováno více frakcí než z papíru, je tedy třeba uvažovat vyšší počet zaměstnanců na směně). Vzhledem k současným hodnotám míry separace plastového a papírového KO, kdy míra separace papíru je v ČR 65 %, kdežto plastu pouze 38 %, je pro

tuto práci zájmový i přes jeho nižší ekonomickou výhodnost scénář č. 3. Na konci kapitoly věnující se simulacím scénářů bylo zjištěno, že zmíněný scénář přestává být ztrátový při uvažování 29% dotace na počáteční investici.

Na vybraný scénář byly v následující kapitole aplikovány citlivostní analýzy zaměřené na různé sady vstupních proměnných. Největší změny výstupů nastávaly při změnách v jednotkových výkupních cenách všech obchodovaných frakcí. Druhou nejvýznamnější proměnnou se ukázala být míra meziročních změn nákladů a výnosů, která v sobě zahrnuje vliv inflace, meziročních růstů mezd a dalších faktorů. Význam této proměnné navíc roste s uvažovanou délkou životnosti linky.

Předposlední kapitola předkládané práce zahrnula do finanční rozvahy scénáře č. 3 dodatečné náklady za dopravu materiálu na linku i z linky. Uvažovány byly dvě varianty řešení dopravy – Varianta A uvažovala, že každý zpracovávaný materiál (papír a plast) je navážen i odvážen vlastním vozem, zatímco varianta B uvažovala vozy dopravující plast i papír společně (ovšem v oddělených prostorech – k mísení složek tak nedochází). Varianta B se ukázala být finančně výhodnější, přesto však způsobovala ztrátovost scénáře č. 3 a to dokonce i při úplném zanedbání investičních nákladů – průměrná roční ztráta se pohybovala ve výši zhruba 700 000 Kč. Na konci kapitoly byl vysloven předpoklad, že by se toto řešení mohlo stát ziskovým, pokud by byly investiční náklady na pořízení vozového parku částečně nebo úplně pokryty externím financováním.

Závěrečná kapitola analyzuje dopad rostoucí materiálové separace cílových složek KO na výhřevnost SKO, ze kterého jsou využitelné složky se zvyšující se mírou separace odváděny. Příklad byl aplikován na město Brno, ve kterém je míra separace papírového odpadu cca 70 % a plastového odpadu přibližně 17 %. Takováto míra separace plastového odpadu je z hlediska požadavků EU, vyjádřených *Směrnicí evropského parlamentu a rady (ES) č. 98/2008*, nepřijatelným výsledkem, jelikož dle zmíněné směrnice má být do r. 2020 tato hodnota minimálně padesátiprocentní. Výsledek analýzy ukazuje, že při vzrůstu míry separace plastového odpadu ze současné hodnoty na požadovanou klesne výhřevnost SKO ze zhruba 9,4 MJ/kg na cca 8,5 MJ/kg. Tento efekt bude mít negativní dopad na provoz ZEVO, která by musela pro zachování konstantních hodnot elektrického a tepelného výkonu zvýšit množství vstupujícího odpadu a tím pádem zvýšit intenzitu jeho návozu, což by vedlo mj. k vyšším provozním nákladům pro tato zařízení.

Ze souhrnu výsledků provedených analýz vyplývá, že výstavba a provoz dotříd'ovací linky je ekonomicky i organizačně náročným projektem, zejména pokud se jedná o zařízení zaměřené primárně na zpracování plastového odpadu. Investiční i provozní náklady spojené s takovýmto projektem jsou značné, zatímco výnosy plynoucí z prodeje vytríděných frakcí příliš vysoké nejsou, a navíc se trh s nimi vyznačuje nezanedbatelnou mírou nestability (hlavně v případě plastového odpadu). Pro maximalizaci potenciálního zisku je nutné vhodně určit, jaké frakce budou reálně separovány. I přes tyto snahy o zvýšení zisku hrozí bez obdržení dotačního programu nebo financování projektu soukromým investorem riziko ztrátovosti uvažovaného zařízení.

Seznam použitých zdrojů a literatury

- [1] Pikalová, Iva. Třídění odpadu pohledem práva. *Odpady*. [Online] 15. Duben 2014. [Citace: 9. Březen 2017.] <http://odpady-online.cz/trideni-odpadu-pohledem-prava/>.
- [2] IEEP, Institut pro ekonomickou a ekologickou politiku při NF VŠE Praha, EKO-KOM, a.s. Strategický analytický dokument pro oblast využívání druhotných surovin. *Ministerstvo průmyslu a obchodu*. [Online] Listopad 2011. [Citace: 8. březen 2017.] <http://www.mpo.cz/assets/dokumenty/45560/51384/586455/priloha001.pdf>.
- [3] Vrbová M. a kol. *Hospodaření s odpady v obcích*. Praha : EKO-KOM, a.s., 2009.
- [4] Energy Recovery from Waste | Municipal Solid Waste. *US Environmental Protection Agency*. [Online] 2014. [Citace: 8. březen 2017.] <http://www.epa.gov/waste/nonhaz/municipal/wte/>.
- [5] Ministerstvo životního prostředí. Plán odpadového hospodářství České republiky pro období 2015 – 2024. *Web MŽP*. [Online] Praha, Listopad 2014. [http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/poh_cr_prislusne_dokumenty/\\$FILE/OODP-POH_CR_2015_2024_schvalena_verze_20150113.pdf](http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/poh_cr_prislusne_dokumenty/$FILE/OODP-POH_CR_2015_2024_schvalena_verze_20150113.pdf).
- [6] Beňo, Zdeněk, a další. *Recyklace: Efektivní způsoby zpracování odpadů*. Brno : Vysoké učení technické, Fakulta strojního inženýrství, Ústav procesního a ekologického inženýrství, 2011. 978-90-214-4240-5.
- [7] Heřman, Michal. Co kam patří? Třídít odpad není jednoduché. *Budějcká Drbna*. [Online] 3. duben 2016. [Citace: 22. březen 2017.] <http://www.budejckadrzna.cz/zpravy/spolecnost/11342-co-kam-patri-tridit-odpad-neni-jednoduche.html>.
- [8] REFLEX Zlín, spol s.r.o - Podzemní kontejnery. *Zcela zapuštěné CITY UTG*. [Online] 14. leden 2015. [Citace: 22. březen 2017.] <http://reflexzlinweb.webmium.com/zcela-zapustene-city-ugc-kruhova-zakladna>.
- [9] Kontejnery na třídění přímo v domech. Praha 7 testuje, jak lidem usnadnit třídění odpadů. *Ekolist.cz*. [Online] 29. únor 2016. [Citace: 22. březen 2017.] <http://ekolist.cz/cz/zpravodajstvi/zpravy/kontejnery-na-trideni-primo-v-domech-praha-7-testuje-jak-lidem-usnadnit-trideni-odpadu>.
- [10] Filip, J., Božek, F. a Kotovicová, J. *Komunální odpad a skládkování*. Brno : Mendlova zemědělská a lesnická univerzita, 2003. ISBN 80-7157-712-x.
- [11] Jak třídíme odpady v Třinci. *Město Třinec*. [Online] [Citace: 22. březen 2017.] <https://www.trinecko.cz/zpaz/odpady/?id=zakladni>.
- [12] Holčík, Jan. V Jeseníku spustili již třetí linku na třídění odpadů. *Šumpersko.NET*. [Online] Sumpersko.net s.r.o., 25. červen 2013. [Citace: 31. březen 2017.] <http://zpravodajstvi.sumpersko.net/V-Jeseniku-spustili-jiz-treti-linku-na-trideni-odpadu-3977/clanek>.
- [13] Recyklace plastů. *Schwakow*. [Online] Schwäkov s. r. o., c2015. [Citace: 31. březen 2017.] <http://www.schwakov.cz/cs/recyklace-plastu>.

- [14] Waste Sorting Plant. *Kingtiger Waste Sorting Machines*. [Online] Kingtiger (Shanghai) Environmental Technology Co., Ltd., c2017. [Citace: 9. květen 2017.] <http://kingtigergroup.com/waste-garbage-sorting-plant/>.
- [15] Medek, Jaroslav. *Mechanické pochody*. Vyd. 3. přeprac. Brno : PC-DIR, 1998. ISBN 80-214-1264-X.
- [16] Pásové dopravníky. *Zpracování komunálního odpadu / Drcení různých odpadů / Odes s.r.o. Jaroměř*. [Online] Odes s.r.o., c2014. [Citace: 1. duben 2017.] <http://www.odes.cz/zarizeni/dopravniky/pasove-dopravniky>.
- [17] Troughed Roller Belt Conveyor | Efficient Belt Conveying. *Bulk Materials Handling Equipment & Solutions - Guttridge*. [Online] Guttridge Ltd, c2017. [Citace: 1. duben 2017.] <https://www.guttridge.com/eu/en/products/troughed-roller>.
- [18] Řetězové dopravníky. *Zpracování komunálního odpadu / Drcení různých odpadů / Odes s.r.o. Jaroměř*. [Online] Odes s.r.o., c2014. [Citace: 2. duben 2017.] <http://www.odes.cz/zarizeni/dopravniky/retezove-dopravniky>.
- [19] Lehké LR. *Bluetech*. [Online] Bluetech s.r.o., c2017. [Citace: 2. duben 2017.] <http://www.bluetech.cz/lehke-lr>.
- [20] Bag Opener. *CP Manufacturing*. [Online] CP Manufacturing, Inc., c2012. [Citace: 3. duben 2017.] <http://www.cpmfg.com/recycling-equipment/recycling-sorting-equipment/bag-opener/>.
- [21] Waste bag opener. *SECON Alternative Fuel Installation*. [Online] SECON AFI Ltd., 2013. [Citace: 3. duben 2017.] <http://www.alternativefuelinstallations.com/index.php/modular-alternative-fuel-equipment/waste-bag-opener>.
- [22] Drum Screen. *Parini, Waste Sorting Technology*. [Online] PARINI S.R.L., c2014. [Citace: 3. duben 2017.] <http://www.parinisrl.it/en/portfolio/drum-screen/#more-1085>.
- [23] Rotační třídiče. *Zpracování komunálního odpadu / Drcení různých odpadů / Odes s.r.o. Jaroměř*. [Online] Odes s.r.o., c2014. [Citace: 3. duben 2017.] <http://www.odes.cz/galerie/tridice/rotacni-tridice>.
- [24] Hvězdicové třídící síto. *Zpracování komunálního odpadu / Drcení různých odpadů / Odes s.r.o. Jaroměř*. [Online] Odes s.r.o., c2014. [Citace: 3. duben 2017.] <http://www.odes.cz/galerie/tridice/hvezdicove-tridici-sito>.
- [25] Air Separator. *Parini, Waste Sorting Technology*. [Online] PARINI S.R.L., c2014. [Citace: 4. duben 2017.] <http://www.parinisrl.it/en/portfolio/air-separator/#prettyPhoto>.
- [26] Ballistic Separator. *Parini, Waste Sorting Technology*. [Online] PARINI S.R.L., c2014. [Citace: 6. duben 2017.] <http://www.parinisrl.it/en/portfolio/ballistic-separator/#prettyPhoto>.
- [27] MASIAS - SEPARATORS AND SCREENS. *Camoter – recycling tech & service*. [Online] Camoter International S.r.l., c2015. [Citace: 6. duben 2017.] <http://www.camoter.com/en/partners-trademarks/masias/separazione/>.

- [28] Ballistic Separators – better alternative to disc screen separators. *Tinsley Company – industrial bulk processing systems and recycling*. [Online] Tinsley Company, c2017. [Citace: 6. duben 2017.] <http://www.tinsleycompany.com/recycling/ballistic-separators/>.
- [29] Separátory magnetických kovů. *Zpracování komunálního odpadu / Drcení různých odpadů / Odes s.r.o. Jaroměř*. [Online] Odes s.r.o., c2014. [Citace: 6. duben 2017.] <http://www.odes.cz/zarizeni/separatory/separatory-magnetickych-kovu>.
- [30] Separátory, detektory. *Zpracování komunálního odpadu / Drcení různých odpadů / Odes s.r.o. Jaroměř*. [Online] Odes s.r.o., c2014. [Citace: 6. duben 2017.] <http://www.odes.cz/galerie/separatory-detektory>.
- [31] Separátory všech kovů. *Zpracování komunálního odpadu / Drcení různých odpadů / Odes s.r.o. Jaroměř*. [Online] Odes s.r.o., c2014. [Citace: 6. duben 2017.] <http://www.odes.cz/zarizeni/separatory/separatory-vsech-kovu>.
- [32] Smrček, A a Voldřich, F. *Sklářské suroviny*. 1. vyd. Praha : Informatorium, 1994. ISBN 80-85427-47-8.
- [33] This Just In: Bunting Eddy Current Separator. *Worldwide Recycling Equipment Sales, LLC: Blog*. [Online] Worldwide Recycling Equipment Sales, LLC, 2. květen 2012. [Citace: 6. duben 2017.] <http://blog.wwrequip.com/new-arrivals/this-just-in-bunting-eddy-current-separator/>.
- [34] Humphreys, Robert. Recycle and Disposal of Plastic Food Packaging Waste 8: More About Waste Plastic Sorting Technologies. *Polymer Innovation Blog*. [Online] Innocentrix, LLC, 6. březen 2017. [Citace: 7. duben 2017.] <https://polymerinnovationblog.com/recycle-disposal-plastic-food-packaging-waste-8-waste-plastic-sorting-technologies/>.
- [35] A Brief Overview of Plastic Sorting Technology. [Online] Plastics Forming Enterprises, LLC, 27. říjen 2011. [Citace: 7. duben 2017.] https://polymerinnovationblog.com/wp-content/uploads/2017/03/10_11_Rigids_Overview_Plastic_Sort_Tech.pdf.
- [36] TOMRA Sensor Based Sorting. *Recycling Systems - Recycling Equipment - Sorting Systems - Van Dyk*. [Online] VAN DYK Recycling Solutions, c2017. [Citace: 7. duben 2017.] <https://vdrs.com/tomra-optical-sorting/>.
- [37] Storage Conveyors. *Parini, Waste Sorting Technology*. [Online] PARINI S.R.L., c2014. [Citace: 7. duben 2017.] <http://www.parinisrl.it/en/portfolio/storage-conveyors/#more-1084>.
- [38] Dotříd'ovací linky separovaného odpadu TDS. *Bluetech*. [Online] Bluetech s.r.o., c2017. [Citace: 7. duben 2017.] <http://www.bluetech.cz/dotridovaci-linky-separovaneho-odpadu-tds>.
- [39] DH & XH Models. *Presona - Balers, compactors and other recycling equipment*. [Online] Presona AB, c2015–2017. [Citace: 7. duben 2017.] <http://presona.se/en/produkter/dh-xh-models/>.
- [40] Výkladový slovník. *petroleum.cz*. [Online] petroleum.cz, c 2007–2017. [Citace: 24. květen 2017.] <http://www.petroleum.cz/slovník.aspx?pid=117>.

- [41] Single-Stream or Commingled Recycling. *CleanRiver*. [Online] c2017. [Citace: 27. březen 2017.] <https://cleanriver.com/sustainability/emerging-trends/single-stream-recycling/>.
- [42] Choosing the right recycling collection system. *WRAP*. [Online] Waste & Resources Action Programme, červen 2009. [Citace: 28. březen 2017.] <http://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/Choosing%20the%20right%20recycling%20collection%20system.pdf>.
- [43] Kerbside Recycling: Indicative Costs and Performance. *WRAP*. [Online] Waste & Resources Action Programme, červen 2008. [Citace: 27. březen 2017.] <http://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/Kerbside%20collection%20report%20160608.pdf>.
- [44] Krátce o třídění. *EKO-KOM*. [Online] EKO-KOM, a.s., c2011. [Citace: 27. březen 2017.] <http://www.ekokom.cz/cz/ostatni/pro-verejnost/kratce-o-trideni-odpadu>.
- [45] Hobrland, Martin. Bude mít třídění plastu smysl? *Třídění Odpadu a recyklace*. [Online] 14. leden 2017. [Citace: 27. březen 2017.] <http://www.trideniodpadu.cz/single-post/2017/01/14/smysltrideniplastu>.
- [46] Bag Openers for Recycling Systems. *Tinsley Company – industrial bulk processing systems and recycling*. [Online] Tinsley Company, c2017. [Citace: 3. duben 2017.] <http://www.tinsleycompany.com/recycling/bag-openers/>.
- [47] BHS Bag Breaker®. *Bulk Handling Systems*. [Online] BULK HANDLING SYSTEMS, 2016. [Citace: 3. duben 2017.] <http://www.bulkhandlingsystems.com/equipment/bag-breaker/>.
- [48] Ostatní stroje. *Bluetech*. [Online] Bluetech s.r.o., c2017. [Citace: 5. květen 2017.] <http://www.bluetech.cz/ostatni-stroje>.

Seznam použitých symbolů a zkratek

C_{el}	[Kč/kWh]	jednotková cena elektrické energie
ČR		Česká republika
ČSÚ		Český statistický úřad
DOT	[Kč]	hodnota dotace na počáteční investici
EU		Evropská unie
HDPE		polyetylén s vysokou hustotou
INV	[Kč]	hodnota počáteční investice
k	[-]	číslo roku, pro který je výše nákladu nebo výnosu počítána
$k_{i,roz,h,A}$	[-]	koeficient rozhodnutí o třídění složky i ze směsi odpadu A
KO		komunální odpad
LDPE		polyetylén s nízkou hustotou
LHV_i	[kJ/kg]	výhřevnost i -té složky směsného komunálního odpadu
LHV_{SKO}	[kJ/kg]	výhřevnost směsného komunálního odpadu
m_A	[t/rok]	roční hmotnostní kapacita linky pro směs odpadu A
$m_{i,vstup,A}$	[t/rok]	hmotnost i -té složky ve směsi odpadu A na vstupu do linky
$m_{i,výstup,A}$	[t/rok]	hmotnost vyseparované i -té složky z původní směsi odpadu A
MŽP		Ministerstvo životního prostředí
$N_{nakl,A}$	[-]	počet řidičů nakladače na směně při zpracovávání odpadu A
$n_{sep,A}$	[-]	počet prodejných frakcí separovaných ze směsi odpadu A
$N_{ved,A}$	[-]	počet vedoucích pracovníků na směně při zpracovávání odpadu A
$N_{vst,A}$	[-]	počet zaměstnanců na vstupu do linky na směně při zpracovávání odpadu A
OST	[Kč/rok]	souhrnné jiné energetické náklady mimo elektrickou spotřebu hlavních zařízení linky (tedy spotřeba vody, osvětlení, ...)
P_1	[kW]	celkový výkon zařízení pracujících během provozu nepřetržitě
P_2	[kW]	celkový výkon zařízení pracujících pouze při lisování materiálu

PE		polyetylén
PET		polyethylenetereftalát
POH		plán odpadového hospodářství
PP		polypropylén
PS		polystyrén
PVC		polyvinylchlorid
r	[%]	příslušná míra inflace
RN _{ener,i,A}	[Kč/rok]	roční energetické náklady na zpracování i-té složky směsi odpadu A
RN _{inv,i,A}	[Kč/rok]	roční zatížení původní investicí připadající na zpracování i-té složky směsi odpadu A
RN _{mzdy,i,A}	[Kč/rok]	roční mzdové náklady připadající na zpracování i-té složky směsi odpadu A
RN _{údrž}	[Kč/rok]	celkové roční údržbové a reinvestiční náklady
RN _{údrž,i,A}	[Kč/rok]	roční údržbové a reinvestiční náklady připadající na zpracování i-té složky směsi odpadu A
SHM _{řad}	[Kč/hod]	superhrubá mzda řadového zaměstnance
SHM _{ved}	[Kč/hod]	superhrubá mzda vedoucího pracovníka
SKO		směsný komunální odpad
T-E model		technicko-ekonomický model
t _{fond}	[hod/rok]	roční fond pracovní doby
t _{živ}	[rok]	předpokládaná doba životnosti zařízení
ÚPI		Ústav procesního inženýrství
V _A	[m ³ /rok]	roční objemová kapacita linky pro směs odpadu A
V _{i,vstup,A}	[m ³ /rok]	objem i-té složky ve směsi odpadu A na vstupu do linky
V _{i,výstup,A}	[m ³ /rok]	objem vyseparované i-té složky z původní směsi odpadu A
V _{lis}	[m ³ /hod]	hodinová zpracovatelská kapacita lisu
W _{i,vstup,A}	[hm. %]	hmotnostní podíl i-té složky ve směsi odpadu A na vstupu do linky
W _{i,SKO}	[hm. %]	hmotnostní podíl i-té složky ve směsném komunálním odpadu
X _{i,vstup,A}	[obj. %]	objemový podíl i-té složky ve směsi odpadu A na vstupu do linky
Z ₁	[Kč/rok]	řešený náklad nebo výnos v prvním roce životnosti linky
ZEVO		zařízení pro energetické využití odpadu

Z_k	[Kč/rok]	řešený náklad nebo výnos v k-tém roce životnosti linky
$\eta_{\text{tríd},A}$	[-]	účinnost třídění směsi odpadu A spojená s rozložením materiálu na páse
ρ_A	[kg/m ³]	objemová hmotnost směsi odpadu A
$\rho_{i,A}$	[kg/m ³]	objemová hmotnost i-té složky směsi odpadu A
$\tau_{\text{zprac},A}$	[%]	podíl fondu pracovní doby věnovaný zpracování odpadu A

Seznam obrázků a tabulek

Obr. 1.1: Hierarchie nakládání s odpady [1]	1
Obr. 2.1: Zastoupení jednotlivých složek KO v r. 2012 dle MŽP [5].....	5
Obr. 2.2: Složení plastového odpadu z domácností [6]	6
Obr. 2.3: Srovnání dat o produkci KO a SKO dle MŽP a ČSÚ v letech 2012–2015.....	8
Obr. 2.4: Graf zastoupení využitelných složek v SKO	9
Obr. 2.5: Kontejnery pro donáškový sběr tříděného odpadu [7]	11
Obr. 2.6: Podzemní kontejnery při jejich vyprazdňování [8]	11
Obr. 2.7: Nádoby pro odvozový způsob přistavené u domu [9].....	12
Obr. 2.8: Schéma odvozového a donáškového sběru [10].....	12
Obr. 2.9: Pytlový odvozový způsob sběru v praxi [11]	13
Obr. 3.1: Obecné schéma linky pro třídění odpadu.....	15
Obr. 3.2: Hlavní třídění prováděné manuálním způsobem [12]	16
Obr. 3.3: Schéma dotříd'ovací linky s převážně manuální obsluhou [13]	17
Obr. 3.4: Schéma vysoce automatizované třídící linky s výstupní kontrolou [14]	17
Obr. 3.5: Schéma pásového dopravníku [15]	18
Obr. 3.6: Pásový dopravník s podpěrnými válci tvořícími prohnutí pásu [17].....	18
Obr. 3.7: Řetězopásový dopravník na vstupu dotříd'ovací linky [19].....	19
Obr. 3.8: Schéma funkce řezačky odpadních pytlů [21].....	20
Obr. 3.9: Rotační třídič [23].....	21
Obr. 3.10: Třídič s posuvnými roštníci [24].....	21
Obr. 3.11: Princip fungování vzduchového třídiče [25]	22
Obr. 3.12: Balistický separátor [27].....	23
Obr. 3.13: Schéma funkce balistického separátoru [28]	23
Obr. 3.14: Schémata variant provedení separátorů magnetických kovů [30].....	24
Obr. 3.15: Přeběhový separátor magnetických kovů [30].....	25
Obr. 3.16: Schéma separace všech kovů při dotříd'ování skleněných střeptů [32]	25
Obr. 3.17: Schéma funkce separátoru využívajícího vířivé proudy [33]	26
Obr. 3.18: NIR optický třídící systém [36].....	27
Obr. 3.19: Zásobníky separovaných frakcí s dopravníkovým dnem [38].....	27
Obr. 3.20: Schéma funkce lisu se dvěma stupni lisování [39].....	28
Obr. 3.21: Lis se dvěma stupni lisování v provozu [39]	28
Obr. 3.22: Mapa výskytu dotříd'ovacích linek jednotlivých komodit v ČR [2].....	29
Obr. 4.1: Přibližné schéma funkce vytvořeného T–E modelu	32
Obr. 4.2: Zjednodušené schéma bočního rozvinutého pohledu na linku	33
Obr. 4.3: Výčet uvažovaných investičních nákladů	34
Obr. 4.4: Výčet uvažovaných provozních nákladů.....	35
Obr. 4.5: T–E model – hodinová zpracovatelská kapacita papíru	36
Obr. 4.6: T–E model – rozdělení režimů třídění během roku.....	36
Obr. 4.7: T–E model – materiálová bilance papírového odpadu	38
Obr. 4.8: T–E model – část finanční bilance pro papírový odpad	39
Obr. 4.9: T–E model – Cash flow	42
Obr. 6.1: Srovnání jednotkových průměrných ekonomických výstupů scénářů.....	47
Obr. 6.2: Graf rozložení průměrných ročních nákladů pro scénář č. 3.....	48
Obr. 6.3: Jednotkové průměrné ekonomické výstupy scénářů bez vlivu investice.....	50
Obr. 7.1: Jednotkové průměrné zisky jako výsledky jednotlivých analýz.....	54

Obr. 8.1: Jednotkové průměrné ekonomické výstupy dopravní úlohy.....	57
Obr. 9.1: Graf závislosti výhřevnosti SKO na míře separace plastového odpadu	61

Tab. 2.1: Srovnání dat o separaci cílových složek dle MŽP a ČSÚ.....	8
Tab. 2.2: Ukazatele produkce a třídění cílových frakcí (r. 2015, data ÚPI)	9
Tab. 2.3: Shrnutí hlavních parametrů zmíněných systému sběru [3].....	14
Tab. 4.1: Tříditelné složky plastového a papírového odpadu	37
Tab. 5.1: Výkupní ceny vybraných surovin na britském trhu, průměr za r. 2016.....	43
Tab. 5.2: Výkupní ceny druhotných surovin na místním trhu – průzkum ÚPI.....	44
Tab. 6.1: Společné hodnoty ovládaných veličin pro všechny scénáře.....	45
Tab. 6.2: Proměnlivé výstupy T-E modelu při třech různých scénářích	46
Tab. 6.3: Průměrné roční zisky ze zpracování jednotlivých složek odpadů.....	48
Tab. 6.4: Finanční zhodnocení vybraných scénářů bez vlivu investice	50
Tab. 7.1: Nastavení proměnných a výstupy citlivostní analýzy výkupních cen	52
Tab. 7.2: Nastavení proměnných a výstupy citlivostní analýzy hodinových mezd.....	53
Tab. 7.3: Nastavení proměnných a výstupy citl. analýzy měr meziročního vývoje	53
Tab. 8.1: Parametry transportní úlohy shodné pro obě varianty řešení	55
Tab. 8.2: Výstupní hodnoty varianty řešení dopravní úlohy A	56
Tab. 8.3: Výstupní hodnoty varianty řešení dopravní úlohy B	56
Tab. 8.4: Srovnání nákladů, výnosů a zisků při uvažování vlivu dopravy	57
Tab. 9.1: Produkce vybraných využitelných složek KO (Brno, r. 2016).....	59
Tab. 9.2: Složení SKO a výhřevnosti jeho složek (Brno, r. 2016)	60

Seznam příloh

Příloha A: Systémy sběru recyklovatelných odpadů v zahraničí

Příloha B: Charakteristiky odděleného sběru cílových frakcí KO

Příloha C: Linky pro dotřídění skla

Příloha D: Schéma uspořádání linky – rozvinutý boční pohled

Příloha E: Schéma uspořádání linky ve zpracovací hale – horní pohled

Příloha A: Systémy sběru recyklovatelných odpadů v zahraničí

V zahraničí se lze setkat i s jinými systémy sběru recyklovatelných surovin, které se vyznačují nižší mírou separace u zdroje. Obecně lze o takovýchto systémech prohlásit, že čím menší je míra separace u zdroje, tím nižší jsou pak náklady na svoz a jejich organizační náročnost, zároveň ovšem rostou náklady na následné dotřídění odpadu a výrazně klesá kvalita získaných druhotných surovin. [41], [42], [43]

Sběr recyklovatelných surovin v jednom proudu odpadu

V tomto systému je odpad vzniklý v domácnostech rozdělen jen do dvou kategorií – odpad určený k recyklaci bez ohledu na materiál, ze kterého je vyroben, a odpad určený k odstranění. Možnou podobu nádoby pro takovýto způsob sběru lze vidět na Obr. A.1. [41]



Obr. A.1: Nádobu pro třídění recyklovatelných surovin v jednom proudu [41]

Svoz při takovémto systému je variabilnější, než svoz, při kterém je každá komodita sbírána do vozidla odděleně, protože nenastává situace, kdy by vozidlo muselo jet složit celý svůj náklad kvůli zaplnění kapacity pouze pro jednu z komodit. Realizace svozu v tomto systému může být úplně samostatná, nebo v kombinaci se zbytkovým odpadem, kdy jsou používána vozidla s rozděleným prostorem. [43]

Snížená kvalita takto sbíraných surovin se projevuje hlavně u papíru, jehož cena na trhu je rapidně snížena vlivem kontaminace zbytkovými látkami, které se vyskytují v ostatních obalových odpadech. Dále je snížen i odbyt skleněného odpadu, protože v rámci tohoto systému je směs využitelných odpadů v odvozovém vozidle lisována, což způsobuje nežádoucí drcení skleněných lahví. Pouze cca 40 % skleněného odpadu vysbíraného v tomto systému má dostatečnou kvalitu, aby mohlo být recyklováno zpět na obalové sklo

nebo skelná vlákna. Pro porovnání – při odděleném samostatném sběru skla je jeho výtěžnost pro stejný účel 90 % i více. [41]

Tento systém svojí jednoduchostí klade minimální nároky na kvalitu třídění ze strany původců odpadů. Díky tomuto se v něm sbírá velké procento vzniklého odpadu, čímž je na první pohled tento systém velmi úspěšný v jeho odklonu od skládkování. Snížená kvalita sekundárních surovin ale brání v jejich odbytu na trhu a tím pádem se z nich stává znovu odpad, který je potřeba odstranit. Celková účinnost tohoto systému je tedy reálně daleko nižší, než by se mohlo zdát. [41]

Sběr recyklovatelných surovin ve dvou proudech odpadu

Tímto systémem se sbírají recyklovatelné suroviny ve dvou proudech – v jednom se sbírá papír a lepenka, v druhém pak veškeré obaly z ostatních materiálů (plastové i skleněné lahve a jiné obaly, kovové obaly). Plastové tašky a fólie jsou často vyloučeny z proudu recyklovatelných surovin úplně a je s nimi nakládáno jako s odpadem k odstranění. Nádobu používanou pro tento sběr lze vidět na Obr. A.2. [43]



Obr. A.2: Nádobu pro třídění recyklovatelných surovin ve dvou proudech [41]

Svoz musí probíhat vozidlem, která má sběrné prostory oddělené. Tento systém je určitým kompromisem, kdy jeho variabilita a jednoduchost je vyšší než při rozdělení sběrových nádob dle materiálů (jak se tomu děje v ČR), na druhou stranu kvalita vytríděného odpadu je výrazně vyšší než při jeho sběru v jednom proudu. [43]

Příloha B: Charakteristiky odděleného sběru cílových frakcí KO

Separovaný sběr každé z cílových složek je na jiné úrovni a má své vlastní charakteristiky a omezení. Každé z nich bude v této příloze věnován prostor, Tab. B.1 zobrazuje souhrnně počty obcí a obyvatel zapojených do jejich sběru. Uvedená data platí pro rok 2009 a jejich zdrojem je EKO-KOM, a.s.

Tab. B.1: Počty obcí, v nichž byly v r. 2009 odděleně sbírány využitelné složky KO [2]

Komodita	Počet obcí	Počet obyvatel
Sklo barevné	5 792	10 287 000
Sklo čiré	2 548	6 845 000
Papír	4 980	9 967 000
Plast	5 843	10 305 000

Tato data naznačují, že nejčastěji je v obcích sbírán plastový odpad. Papír a barevné sklo se sice sbírá méně, ale tento rozdíl není příliš značný. Dále z dat lze vyvodit, že oddělený sběr čirých střepech provozuje ani ne polovina těch obcí, které sklo separovaně sbírají.

Sklo

Majoritní složkou separovaně sbíraného skleněného KO je nevratné obalové sklo, zatímco ploché a jiné druhy skla se v tomto toku odpadu vyskytují ojediněle. Na území ČR se v historii opakovaně zaváděl a rušil oddělený sběr čirého a barevného skla. Od r. 2002 je systémem EKO-KOM podporován takto oddělený sběr. Důvody pro provoz tohoto systému jsou zvýšené náklady spojené s dotříděním střepech, stejně tak jako vysoká a trvalá poptávka po čirých střepech ze strany jednoho z předních místních zpracovatelů, sklárny Vetropack Moravia Glass a.s. [2]

Sběr skla probíhá hlavně donáškovým způsobem do nádob se spodním výsypem, většinou o objemu 1,3–1,5 m³. Tento způsob sběru je podporován i úpravci skla, kteří potvrzují, že takto sbírané sklo vykazuje nejvyšší kvalitu. S touto kvalitou souvisí i použitá svozová technika – pro svoz tohoto typu nádob se používají vozidla bez lisovacího zařízení, což je výhodné proto, že drcení sbíraných střepech během svozu, a tedy ještě před úpravou na dotřídňovací lince, je nežádoucí. Pytlový sběr skla je vlivem jeho vysoké objemové hmotnosti nepraktický, a tedy zřídka využíváný. [2], [3]

Kontejnery pro sběr čirého skla jsou značeny bílou barvou, pro sběr barevného skla barvou zelenou. Odpad do nich odkládáný nese v Katalogu odpadů označení 20 01 02 a 15 01 07. Do bílého kontejneru by na základě doporučení společnosti EKO-KOM a.s. mělo být sbíráno pouze čiré obalové a jiné spotřební sklo. Co patří a nepatří do kontejneru na barevné sklo shrnuje Tab. B.2. [44]

Tab. B.2: Vhodný a nevhodný odpad pro vhoz do kontejneru na barevné sklo [44]

PATŘÍ	NEPATŘÍ
<ul style="list-style-type: none"> • Obalové sklo jakékoliv barvy. • Tabulové sklo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Porcelán a keramika. • Sklo s plastovými příměsemi (autosklo, plexisklo, ...). • Sklo s kovovými příměsemi (zrcadla, drátovaná skla, žárovky, ...).

Papír

Tříděný sběr papírového KO je složen ze směsi papírových obalů, novin a časopisů. Obecně platí, že papírový odpad získaný jako složka KO má výrazně nižší kvalitu, než odpad získaný z průmyslových nebo komerčních zdrojů. [2]

Hlavním způsobem sběru je donáškový nádobový sběr, kterým bylo v r. 2009 sbíráno cca 80 % veškerého papírového KO. Pro tento způsob sběru se využívají hlavně kontejnery s horním výsypem o objemu 1100 l, méně pak kontejnery se spodním výsypem o objemu 1,3–2,5 m³. Častější výskyt kontejnerů s horním výsypem je způsoben tím, že jejich odvoz je realizován vozy vybavenými lisovací technikou, které jsou pro přepravu papíru velmi vhodné, protože lisováním neztrácí papír nikterak na kvalitě. [2], [3]

Zhruba 2% podíl měl na sběru papíru v r. 2009 pytlový sběr, který je vhodný hlavně v malých obcích. Zbýlá část se získávala prostřednictvím výkupu od občanů ve výkupnách papíru. Dá se předpokládat, že v současné době je význam výkupu již nižší díky vyššímu vlivu systému EKO-KOM oproti referenčnímu roku 2009. [2]

Nádoby na třídění papíru mají modrou barvu a v následující Tab. B.3 je opět shrnuto, jaké typy odpadu jsou, respektive nejsou vhodné pro tento kontejner. V Katalogu odpadů odpovídá separovaně sbíraný papír odpadům č. 20 01 01 a 15 01 01.

Tab. B.3: Vhodný a nevhodný odpad pro vhoz do kontejneru na papír [44]

PATŘÍ	NEPATŘÍ
<ul style="list-style-type: none"> • Časopisy, noviny, sešity. • Kancelářský papír včetně spon a jiných kovových příměsí (k jejich odstranění dojde při zpracování). • Papírové a lepenkové obaly – jejich objem by měl být snížen na minimum. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mastný, organickými nebo chemickými látkami znečištěný papír. • Lepenková plata od vajec, roličky toaletního papíru – jsou vyrobeny z papíru, který je na konci své recyklační životnosti.

Plast

Ve většině obcí je separovaný sběr plastů realizován jako sběr směsi obalových a jiných plastových výrobků o různorodém složení. Tento systém sběru, který je podporován i společností EKO-KOM a.s., má největší šanci vykazovat hodnoty o separovaně sbíraném odpadu v dostatečné výši na to, aby byly splněny legislativní požadavky EU. Polemizovat se ovšem dá o účinnosti tohoto systému. Nejvyšší odbyt na trhu sekundárních surovin

mají obalové lahve z PET, obalové materiály z HDPE (drogistické zboží) a fólie z LDPE a PP. Ostatní plastové odpady jsou na trhu uplatnitelné prakticky velmi málo či dokonce vůbec. Nutnost jejich vytrídění ze směsného plastového odpadu, který je sbírán v současné době, ovšem prodražuje separaci oněch reálně uplatnitelných složek, což má ve výsledku negativní dopad na jejich odbyt. Existují obce, které právě z tohoto důvodu sbírají v rámci separovaného sběru plastů pouze PET lahve. V minulosti mezi ně patřilo i město Brno, později se ovšem vrátilo k současnému systému sběru směsi plastů. [2], [45]

Podobně jako v případě sběru papíru je sběr plastů realizován hlavně donáškovým způsobem do kontejnerů o objemu 1100 l, a to ze stejného důvodu – tedy možnost použití lisovacího vozidla. Tímto způsobem bylo v r. 2009 realizováno cca 91 % veškerého sběru. Zbytek byl realizován pomocí pytlového sběru. Kontejnery pro sběr plastů bývají označeny žlutou barvou a souhrn vhodných a nevhodných plastů pro vhoz dle současných kritérií sběru lze vidět v Tab. B.4. Separovaně sbíranému plastovému odpadu připadají v Katalogu odpadů kódy 20 01 39 a 15 01 02 [2], [44]

Tab. B.4: Vhodný a nevhodný odpad pro vhoz do kontejneru na plast [44]

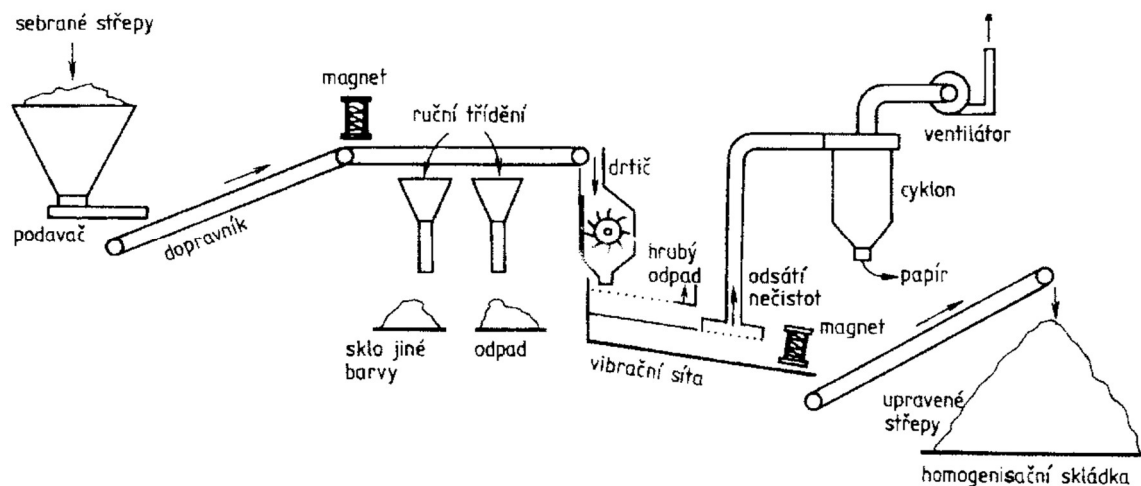
PATŘÍ	NEPATŘÍ
<ul style="list-style-type: none"> Nápojové obaly z PET (řádně sešlápnuté). Obaly z HDPE (většinou obaly drogistického zboží). Kelímky od jogurtů. Fólie, plastové tašky Menší kusy polystyrenu. 	<ul style="list-style-type: none"> Jakékoliv obaly s velkou mírou znečišťujících organických látek (potraviny). Obaly znečištěné mastnotou. Obaly od nebezpečných látek. Výrobky z PVC (trubky, podlahové krytiny).

Nápojový karton

Tato komodita je nejčastěji sbírána jako součást odděleného sběru plastu či papíru. Vyšší kvality a výtěžnosti se ovšem, vcelku logicky, dosahuje při samostatném sběru. Ten v některých větších městech probíhá donáškovou formou do oranžových nádob, častěji však formou pytlového sběru. [3]

Příloha C: Linky pro dotřídění skla

Proces dotřídování skla je úzce spojen s procesem drcení a čištění vzniklých střepů, navíc je sklo jako materiál agresivnější a tím pádem více zatěžuje použitá zařízení (pásky dopravníků apod.). Tyto skutečnosti jsou důvodem, proč se jeho dotřídění neprovádí na stejných zařízeních, jako plasty a papír. Schéma možného uspořádání tohoto typu linky lze vidět na Obr. C.1.



Obr. C.1: Schéma dotřídovací linky sběrového skla [32]

Prvním procesem na tomto zařízení je ruční třídění, kterým se vytrídí nejvýraznější neskleněné odpady a případně sklo jiné barvy, než je právě zpracováváno (pokud na lince nejsou zařazeny systémy pro automatizované dělení střepů podle barvy). Právě kvůli tomuto ručnímu třídění je vhodné, aby bylo sklo při sběru a dopravě co nejméně rozdrceno – větší kusy zpracuje obsluha snadněji. Materiál pokračuje na dynamický drtič, který odpad přemění na střepi, ze kterých se na následujících vibračních sítích vyseparuje směs o vhodném granulometrickém složení. Z ní jsou odsávány prachové a jiné lehké nečistoty (papír, ...) a odstraňovány magnetické i nemagnetické kovy. Pomocí optického zařízení pracujícího na podobném principu jako to zmíněné v kap. 3.2.3 jsou střepi čištěny i od keramických a jiných neskleněných drobných nečistot. Následně bývají střepi tříděny pomocí dalšího typu optického čidla podle barvy. [6]

V kapitole 3.3 zmíněnou pětici dotřídovacích linek skleněného odpadu provozují tyto firmy: [2]

- AMT s.r.o. Příbram
 - linka ve městě Příbram – zpracování obalového skla
 - linka ve městě Nové Sedlo – zpracování obalového skla
- Vetropack Moravia Glass, a.s.
 - linka ve městě Kyjov – zpracování obalového skla

- REMAT Glass, s.r.o.
 - linka v obci Kelčany – zpracování obalového i plochého skla (včetně autoskla)
- SPL Recycling, a.s.
 - linka v obci Chotějovice – zpracování plochého skla (včetně autoskla)

Firma Vetropack Moravia Glass je zároveň i zpracovatelem skleněných střepeů a jedním ze dvou největších producentů obalového skla v ČR. Tím druhým je firma Owens–Illinois Manufacturing Czech Republic, a.s., pro kterou upravuje střepey na základě dlouhodobého kontraktu firma AMT. Všichni tito provozovatelé dotříd'ovacích linek skleněného odpadu v ČR se ovšem naneštěstí musí potýkat s problémem udržení konkurenceschopnosti jimi upravených střepeů. V sousedním Německu totiž nedochází k zpoplatnění neupraveného sběrového skleněného odpadu při jeho předání mezi svozovou firmou a úpravci, naopak v ČR je toto běžnou praxí. Ve výsledku tak cena upraveného německého střepeu může být nižší až o 400 Kč/t. [2]

Kvalitativní požadavky na sekundární surovinu ze skla nejsou na území ČR jednotně stanoveny žádnou normou. V rámci systému EKO-KOM, který spolupracuje s hlavními úpravci obalového skla, byla ovšem stanovena alespoň základní specifikace, která vychází z německé normy: [2]

- Granulometrická specifikace:

○ Frakce 0–37 mm	100 %
○ Frakce 2–37 mm	min 90 %
○ Frakce 0–2 mm	min 10 %
- Specifikace znečišť'ujících látek:

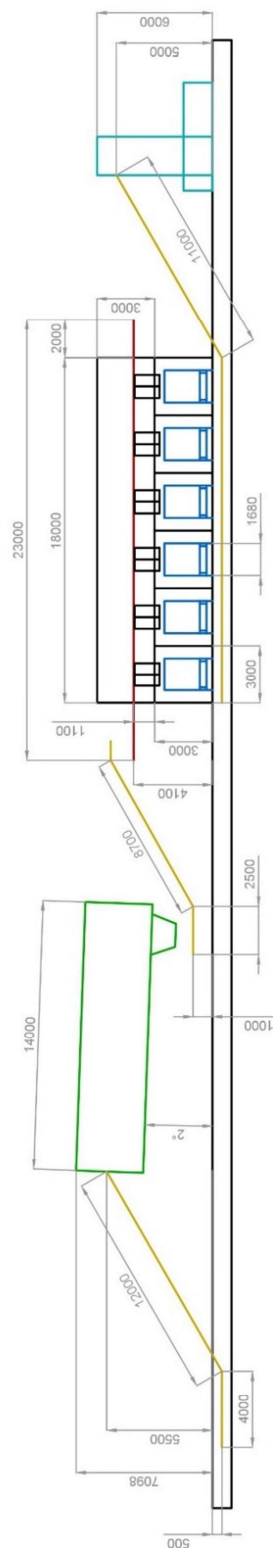
○ Nemagnetické kovy	max. 2,0 g/100 kg
○ Magnetické kovy	max. 0,5 g/100 kg
○ Porcelán, keramika, kameny, sklokeramika	max. 2,0 g/100 kg
○ Organické látky	max. 400 g/100 kg
- Specifikace vlhkosti:

○ Vlhkost střepeů	max. 4 %
-------------------	----------
- Specifikace barevných podílů:

○ Zelené střepey:	
▪ zelené	75 % – 100 %
▪ hnědé	0 % – 20 %
▪ bílé	0 % – 20 %
▪ ostatní	0 % – 10 %
○ Hnědé střepey:	
▪ hnědé	75 % – 100 %

▪ ostatní	0 % – 35 %
○ Bílé střepy:	
▪ ostatní	max. 5 %
○ Míchané střepy:	
▪ zelené	20 % – 60 %
▪ hnědé	5 % – 25 %
▪ bílé	30 % – 60 %
▪ ostatní	0 % – 2 %

Příloha D: Schéma uspořádání linky – rozvinutý boční pohled



LEGENDA:

- Řetězopásový dopravník
- Rotační třídič
- Pásový dopravník
- Plechové konstrukce včetně shozů separovaného materiálu; základová deska
- Zásobníky separovaných frakcí
- Lis

Příloha E: Schéma uspořádání linky ve zpracovací hale – horní pohled

